

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-244601

(43)Date of publication of application : 02.09.1994

(51)Int.Cl.

H01P 1/00
G01R 13/34
H01L 29/93
H01P 3/02
H01P 3/08
H01P 9/00

(21)Application number : 03-187589

(71)Applicant : UNIV LELAND STANFORD JR

(22)Date of filing : 26.07.1991

(72)Inventor : MARSLAND ROBERT A
RODWELL MARK J W
BLOOM DAVID M

(30)Priority

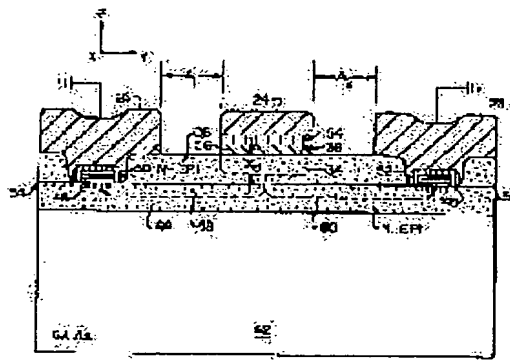
Priority number : 90 558356 Priority date : 26.07.1990 Priority country : US

(54) NONLINEAR TRANSMISSION LINE AND SAMPLING HEAD

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an integrated sampling head which uses equivalent time sampling, in order to generate an intermediate frequency output signal that is an equivalent time replica of a RF signal to be sampled.

CONSTITUTION: An integrated coplanar strip nonlinear transmission line provides a gallium arsenide base board 42, and heavily doped embedded layer 44, which is composed of epitaxial growth gallium arsenide and lightly dope surface layer 36 grow on the board 42. Two parallel conductors 24 and 26 are integrated on the surface of the layer 36, a series of islands which have electrically undergone insulation separation are formed along the entire length of a transmission line. Schottky varactor diode, which gives voltage dependent junction capacitance that is periodically loaded on a line, is integrated in each island. Both contacts of anode and cathode are separated only by the shortest distance by a design rule for minimizing serial resistance. An RF sampler consists of an RF signal coplanar waveguide and is integrated together with the sampling diode on the gallium arsenide base board.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-244601

(43)公開日 平成6年(1994)9月2日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 P 1/00	A			
G 0 1 R 13/34	C	8203-2G		
H 0 1 L 29/93	S			
H 0 1 P 3/02				
3/08				

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 36 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願平3-187589	(71)出願人	591163122 ザ ボード オブ トラスティーズ オブ ザ リーランド スタンフォード ジュ ニア ユニバーシティ アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94305、スタンフォード (番地なし)
(22)出願日	平成3年(1991)7月26日	(72)発明者	ロバート、エー、マースランド アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95014、キューバティノ、マラヴィスタ 10240
(31)優先権主張番号	U S S E R N O 0 7 / 5 5 8 3 5 6	(74)代理人	弁理士 木村 高久
(32)優先日	1990年7月26日		
(33)優先権主張国	米国 (U S)		

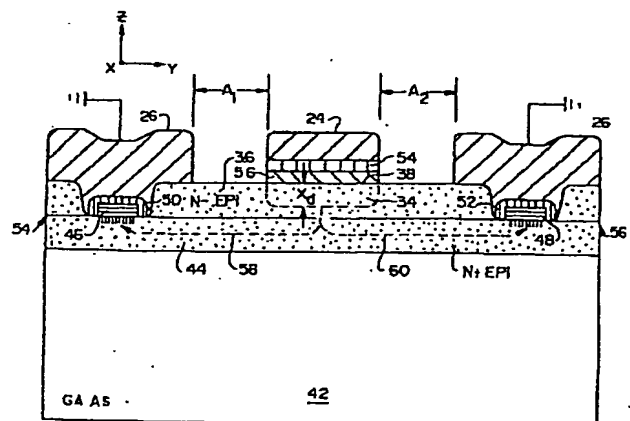
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 非線形伝送ライン及びサンプリングヘッド

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 サンプリングすべきR F入力信号の等価時間レプリカである中間周波数出力信号を発生させるのに、等価時間サンプリングを用いた集積サンプリングヘッドを提供することにある。

【構成】 集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインで、ガリウムヒ素の基板を備え、その上にエピタキシャル成長ガリウムヒ素からなる強ドーブの埋め込み層44と軽ドーブの表面層36とが成長される。軽ドーブ層の表面上に2つの平行な導体24, 26が集積され、伝送ラインの全長に沿って一連の電気絶縁分離されたアイランドが形成される。各アイランド内に、周期的にラインに負荷される電圧依存の接合キャパシタンスを与えるショットキーバクタダイオードが集積される。アノード及びカソード両接点は、直列抵抗を最小とするように、設計ルールでの最小距離だけ離間される。ガリウムヒ素の基板にサンプリングダイオードと共に集積されたR F信号コプレーナ導波管からなる、R Fサンブラである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】非線形伝送ラインであって：半導体物質の基板；集積コプレーナストリップ伝送ラインを形成するように前記基板の表面上に形成された第1及び第2の平行導体；相互に電氣的に絶縁分離され、前記集積コプレーナストリップ伝送ラインに沿って分散されると共に、前記基板に形成された複数の半導体接合で、各接合が前記第1導体に接続された一側と前記第2導体に接続された他側とを有し、また各接合が、該接合の位置における任意の特定時間に前記第1及び第2導体間に存在する電圧に伴って変化する接合キャパシタンスを有する半導体接合；を備えた非線形伝送ライン。

【請求項2】前記基板の表面上に、導電性を増大するように不純物で強くドーブされたエピタキシャル成長半導体の第1層と、該第1層をドーブするのに用いたのと同じ形の不純物で軽くドーブされたエピタキシャル成長半導体の第2層とが形成されており、前記第2層のドーピングがショットキーバリアダイオード接合の形成に適したものである請求項1の非線形伝送ライン。

【請求項3】前記エピタキシャル成長半導体の第1及び第2層の電氣的に絶縁分離されたアイランドが形成されており、該各アイランドが少なくとも1つの前記ショットキーバリアダイオード接合を含む請求項2の非線形伝送ライン。

【請求項4】前記各接合がショットキーバリアバラクタダイオードである請求項1の非線形伝送ライン。

【請求項5】前記各接合がショットキーバリアバラクタダイオードである請求項3の非線形伝送ライン。

【請求項6】前記各ショットキーバリアバラクタダイオードのカソードが、前記第1導体に対応した絶縁分離アイランド内の前記エピタキシャル成長半導体の第1層へ直接接続する少なくとも1つのオーミック接点からなる請求項5の非線形伝送ライン。

【請求項7】前記各ショットキーバリアバラクタダイオードのカソードが、対応した絶縁分離アイランドの両端で前記エピタキシャル成長半導体の第1層と直接接触する少なくとも2つのオーミック接点と、該各オーミック接点と電気接触する前記第1導体のメタルの延長部とからなり、前記各ショットキーバリアバラクタダイオードのアノードが、前記第2導体のメタルのうち前記少なくとも2つのオーミック接点の位置間の絶縁分離アイランド上への延長部と、該第2導体の延長部及び前記エピタキシャル成長半導体の第2層と電気接触するショットキーメタルの層とからなる請求項6の非線形伝送ライン。

【請求項8】前記第1及び第2導体の延長部が金で、前記アノード及び前記カソードの各々の該金と下側に位置したショットキーメタル及びオーミック接点との間にそれぞれ拡散バリア物質の層をさらに備えた請求項7の非線形伝送ライン。

【請求項9】前記カソードのオーミック接点と前記アノ

ードとの間の距離が、集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインを作製するのに使われる設計ルールの下で許容される最小距離である請求項7の非線形伝送ライン。

【請求項10】前記第1及び第2導体の幅と間隔、各絶縁分離アイランドのサイズ、前記アノード接点の幅と長さ、及びダイオード間の中心-中心間隔が、前記集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインについて所定の特性インピーダンスを与えるように選択された請求項9の非線形伝送ライン。

【請求項11】前記集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインが入力と出力を有し、前記入力に接続された第1の所定数の前記ダイオードが、第1のセルサイズと第1の遮断周波数を決める接合領域と中心-中心間隔を有し、前記出力に接続された第2の所定数の前記ダイオードが、第1のより小さいセルサイズと第2のより高い遮断周波数を決める接合領域と中心-中心間隔を有し、前記第1及び第2のダイオード数が、前記集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインの入力から出力へ階段関数が伝播するときの階段関数の立ち下がり時間を最大限に圧縮するように選ばれており、さらに前記各PN接合が超階段接合ドーピング分布を有する請求項10の非線形伝送ライン。

【請求項12】集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインであって：半導体の基板；前記基板の一表面上に形成されたドーブエピタキシャル成長半導体の埋め込み層で、その抵抗率を大幅に減少させるのに充分高い不純物濃度にドーブされた埋め込み層；前記埋め込み層の表面上に形成された軽ドーブエピタキシャル成長半導体の表面層；所定の特性インピーダンスを有するコプレーナストリップ伝送ラインを形成するように前記表面層上に集積された第1及び第2の導体；少なくとも前記埋め込み層と前記軽ドーブエピタキシャル成長半導体の内部に、実質上非導電性である半導体の領域によって取り囲まれ、電氣的に絶縁分離された複数のアイランドが形成されており、該アイランドが前記平行な第1及び第2導体の間で前記基板に沿って離間していること；前記絶縁分離されたアイランド内に集積され、前記第1及び第2導体へ電氣的に接続されており、対応したアイランドにおける任意の特定時間に前記伝送ラインを横切る電圧差に伴って変化する各アイランドでの値を持つ容量性インダクタンスを前記伝送ラインに負荷すると共に、接合手段のインピーダンスを含む前記伝送ラインの総特性インピーダンスを所定の値にする接合手段；を備えた集積コプレーナストリップ非線形伝送ライン。

【請求項13】前記接合手段が前記各絶縁分離アイランド内に集積されたショットキーバラクタダイオードである請求項12の集積コプレーナストリップ非線形伝送ライン。

【請求項14】前記各ショットキーバラクタダイオードが、前記第1導体に接続され、絶縁分離アイランドの面

端で前記表面を貫いてエッチングされた孔内に形成されて、前記埋め込み層と直接電気接触する少なくとも2つのオーミック接点を含むカソードと、前記第2導体に接続され、前記オーミック接点の間の対応した絶縁分離アイランド上方で前記表面層と直接接触するショットキーメタルを含むアノード接点とからなり、前記オーミック接点と前記ショットキーメタルとの間の距離が、前記ダイオードを作製するのに使われる設計ルールの下で許容される最小距離である請求項12の非線形伝送ライン。

【請求項15】前記第1及び第2導体の寸法と間隔が、ダイオード接合によって与えられる負荷がない場合に約100オームの特性インピーダンスを有する集積コプレーナ伝送ラインを形成するものであり、前記ダイオード接合の寸法と間隔が、総特性インピーダンスを約5.0オームとするような追加のインピーダンスを伝送ラインに負荷するものであり、さらに前記埋め込み層のドーピングが立方センチメートル当たり約 3×10^{18} 不純物原子の密度で、各ダイオードが超階段接合ドーピング分布を有する請求項14の集積コプレーナストリップ非線形伝送ライン。

【請求項16】集積非線形伝送ラインであって：強ドーブ埋め込み層と軽ドーブ表面層を有し、実質上非導電性である半導体の領域によって取り囲まれ、電気的に絶縁分離された複数の相互離間アイランドを有しており、該電気的に絶縁分離されたアイランドがその周囲内に前記表面層及び埋め込み層の導電性半導体の部分を含んでいる半導体基板；前記表面層上に、非線形伝送ラインとして所望な総特性インピーダンスよりも大幅に高い特性インピーダンスを有する非線形伝送ラインを形成するように、相互に平行で且つ十分に遠く離間して集積された2つの平行導体；前記絶縁分離アイランド内に集積され、前記2つの平行導体と電気的に接続されて、前記伝送ラインに沿った信号伝播の群速度を、伝送ラインに沿った各地点における電圧に依存したものとする手段；を備えた集積非線形伝送ライン。

【請求項17】集積サンプリグヘッドであって：回路を集積するのに適した一表面を有する半導体物質の基板；前記一表面上に集積された集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインを含み、第1の立ち上がり時間を有するサンプルパルスを受け取って、該パルスを第2の大幅に速い立ち上がり時間を有する中間パルスに再整形する第1の手段；前記一表面上に集積され、前記中間パルスを受け取ると共に、その中間パルスを微分して前記第2の立ち上がり時間にほぼ等しいパルス幅を有するサンプルパルスを発生する微分手段；前記一表面上に集積され、サンプリグすべき高周波の反復信号を受け取り、該反復信号を前記表面に沿って導くRF導波管手段；及び前記一表面上に集積され、前記RF導波管手段に接続されると共に前記サンプルパルスを受け取るように接続

時点におけるサンプリグされるべき前記反復信号の振幅に実質上等しい出力電圧を発生するサンプリグ手段；を備えた集積サンプリグヘッド。

【請求項18】集積サンプリグヘッドであって：回路を集積するのに適した一表面を有する半導体物質の基板；前記一表面上に集積され、第1の立ち上がり時間を有するサンプルパルスを受け取って、該パルスを第2の大幅に速い立ち上がり時間を有する中間パルスに再整形する第1の手段；前記一表面上に集積され、前記中間パルスを受け取ると共に、その中間パルスを微分して前記第2の立ち上がり時間にほぼ等しいパルス幅を有するサンプルパルスを発生する微分手段；前記一表面上に集積され、サンプリグすべき高周波の反復信号を受け取り、該反復信号を前記表面に沿って導くRF導波管手段；及び前記一表面上に集積され、前記RF導波管手段に接続されると共に前記サンプルパルスを受け取るように接続され、各サンプルパルスの時点に、該サンプルパルスの時点におけるサンプリグされるべき前記反復信号の振幅に実質上等しい出力電圧を発生するサンプリグ手段；を備えた集積サンプリグヘッド。

【請求項19】前記第1手段が、電圧依存の分路キャパシタンスが周期的に負荷されることを特徴とする非線形伝送ラインからなる請求項18の集積サンプリグヘッド。

【請求項20】前記非線形伝送ラインが、集積されたショットキーバラクタダイオードが周期的に負荷される集積コプレーナストリップ伝送ラインである請求項19の集積サンプリグヘッド。

【請求項21】前記微分手段が、スロットラインモードでの伝播を励起するように前記非線形伝送ラインに接続された集積コプレーナ導波管を含む請求項20の集積サンプリグヘッド。

【請求項22】前記微分手段の前記集積コプレーナ導波管が、第1及び第2のアース面導体を有すると共に、該第1及び第2のアース面導体をある点で短絡させ、前記中間パルスが前記非線形伝送ラインへの接続地点から前記第1及び第2アース面導体が短絡された地点まで進んで再び戻ってくる往復の進行時間が、前記第2の立ち上がり時間に実質上等しくなるようにする手段をさらに備えた請求項21の集積サンプリグヘッド。

【請求項23】前記RF導波管手段が、中央導体と、該中央導体から分離され電気的に絶縁分離された第1及び第2のアース面導体とを有する集積コプレーナ導波管であり、これら中央導体及びアース面導体がすべて前記表面上に形成されている請求項22の集積サンプリグヘッド。

【請求項24】前記微分手段の前記第1及び第2のアース面導体が、前記RF導波管手段の第1及び第2アース面導体である請求項23の集積サンプリグヘッド。

【請求項25】前記第1の手段が、強ドーブ埋め込み層

と軽ドーピング表面層を有し、実質上非導電性である半導体の領域によって取り囲まれ、電気的に絶縁分離された複数の相互離間アイランドを有しており、該電気的に絶縁分離されたアイランドがその周囲内に前記表面層及び埋め込み層の導電性半導体の部分を含んでいる半導体基板；前記表面層上に、非線形伝送ラインとして所望な総特性インピーダンスよりも大幅に高い特性インピーダンスを有する非線形伝送ラインを形成するように、相互に平行で且つ十分に遠く離間して集積された2つの平行導体；前記絶縁分離アイランド内に集積され、前記2つの平行導体と電気的に接続されて、前記伝送ラインに沿った信号伝播の群速度を、伝送ラインに沿った各地点における電圧に依存したものとする手段；を備えた請求項20の集積非線形伝送ライン。

【請求項26】前記第1手段が：半導体の基板；前記基板の一表面上に形成されたドーピングエピタキシャル成長半導体の埋め込み層で、その抵抗率を大幅に減少させるのに充分高い不純物濃度にドーピングされた埋め込み層；前記埋め込み層の表面上に形成された軽ドーピングエピタキシャル成長半導体の表面層；所定の特性インピーダンスを有するコプレーナストリップ伝送ラインを形成するように前記表面層上に集積された第1及び第2の導体；少なくとも前記埋め込み層と前記軽ドーピングエピタキシャル成長半導体の内部に、実質上非導電性である半導体の領域によって取り囲まれ、電気的に絶縁分離された複数のアイランドが形成されており、該アイランドが前記平行な第1及び第2導体の間で前記基板に沿って離間していること；前記絶縁分離されたアイランド内に集積され、前記第1及び第2導体へ電気的に接続されており、対応したアイランドにおける任意の特定時間に前記伝送ラインを横切る電圧差に伴って変化する各アイランドでの値を持つ容量性インダクタンスを前記伝送ラインに負荷すると共に、接合手段のインピーダンスを含む前記伝送ラインの総特性インピーダンスを所定の値、好ましくは50オームにする接合手段；を備えた請求項20の集積非線形伝送ライン。

【請求項27】前記サンプリング手段が前記一表面上に集積された第1及び第2のダイオードを含み、該各ダイオードがアノードとカソードを有しており、前記サンプリング手段がさらに前記一表面上に集積された第1及び第2のコンデンサを備え、該第1コンデンサのボトムプレートが前記RF導波管手段の第1のアース面導体に接続され、該第1コンデンサのトッププレートが前記第1ダイオードのカソードに接続され、前記第1ダイオードのアノードと前記第2ダイオードのカソードが前記RF導波管手段の中央導体に接続され、前記第2ダイオードのアノードが前記第2コンデンサのトッププレートに接続され、前記第2コンデンサのボトムプレートが前記RF導波管手段の第2のアース面導体に接続されており、

る抵抗を備え、該第1端子が前記第1ダイオードのカソードに接続され、該第2手段が前記第2ダイオードのアノードに接続され、前記抵抗はさらに中央タップ端子と前記第1及び第2端子の各々との間が等しい抵抗となるように配置された中央タップ端子を有し、前記中央タップ端子が、前記RF導波管手段上を伝播する前記信号と同一の形状と電圧を有するが、周波数が大幅に低い出力信号が生じる出力端子として機能する請求項25の集積サンプリングヘッド。

【請求項28】高周波周期信号の等価時間低周波の再生信号をサンプリングによって発生する集積サンプルヘッドであって：少なくとも第1面と第2面を有する半導体物質の基板；前記基板の第1面上にコプレーナストリップ非線形伝送ラインとして集積され、第1の立ち上がり時間を有するサンプルパルスを受け取って、前記第1の立ち上がり時間より短い立ち上がりを有するように前記サンプルパルスの形状を変更し、該形状の変更されたサンプルパルスを出力に与えるサンプルパルス発生手段；前記基板の第1面上に集積され、前記出力に接続されて、前記出力に現れるサンプルパルスを微分する手段；前記基板の第1面上に集積され、第1及び第2アース面導体と中央導体並びに入力を有するRFコプレーナ導波管；前記基板の第1面上に集積され、前記中央導体と第1及び第2アース面導体との間に直列に接続されて第1の分路を形成する第1のダイオード／コンデンサ対で、該ダイオードが前記中央導体に接続されたアノードと前記ダイオード／コンデンサ対のコンデンサに接続されたカソードを有する第1のダイオード／コンデンサ対；前記基板の第1面上に集積され、前記中央導体と第1及び第2アース面導体との間に直列に接続されて第2の分路を形成する第2のダイオード／コンデンサ対で、該ダイオードが前記中央導体に接続されたカソードと前記ダイオード／コンデンサ対のコンデンサに接続されたアノードを有する第2のダイオード／コンデンサ対；前記基板の第1面上に集積され、前記第1のダイオード／コンデンサ対中における前記ダイオードのカソードと前記第2のダイオード／コンデンサ対中における前記ダイオードのアノードにそれぞれ接続された第1及び第2の端部端子と、中央タップとを有する抵抗；及び前記抵抗の中央タップに接続された出力端子；を備えた集積サンプリングヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この研究は米国政府海軍研究局により、契約 No. N99914-85-K-0381 に基づき資金援助された。米国政府は、この技術について支払い済みの実施許諾権を得ている。本願は、Bloom と Rodwell による1987年10月6日付け出願の米国特許出願通し No. 106,554、名称「ピコ秒の電気的過渡現象を発生するための非線形伝送ライン」の一部継続出願であつた。

988年10月17日付け出願の米国特許出願通し No. 07/259,027、名称「100GHz以上のバンド幅を有する等価時間サンプリングを用いたガリウムヒ素型モノリシック集積サンプリングヘッド」の一部継続出願であり、上記2つの米国特許出願は共に現在審理中で、参照によってここに包含されるものとする。

【0002】本発明は、超短波RF信号をサンプリングする分野に関する。特に本発明は、サンプリングすべきRF入力信号の等価時間レプリカである中間周波数出力信号を発生させるのに等価時間サンプリングを用いた、集積サンプリングヘッドに関するものである。

【0003】

【従来の技術】従来、薄膜信号サンプラは、いくつか異なる態様で作製されてきた。最も初期の態様において、信号サンプラは複数の穴が加工形成された真ちゅうブロックで、吊り下げられた中心導体が導波管として作用した。1つの穴がサンプリングすべきRF信号用の導波管として使われ、別の穴がサンプルゲートをオンするのに用いられたサンプルパルスを導くのに使われていた。これらのサンプリング装置に伴う困難は、それらが動作可能な周波数が、真ちゅうブロックに加工形成可能な最小直径の穴によって制限されることであった。各導波管の直径が、その導波管の使える上限周波数を決める。

【0004】それより後の従来技術における信号サンプラの設計は、離散的な構成部品のハイブリッドアセンブリを含んでいた。この種の装置では、集積プレーナ導波管を含む離散的なダイオード及び薄膜水晶基板技術が使われていた。米国特許 No. 4,672,341が、この技術を代表するものである。この手法に伴う困難は、基板上の集積が両面に施され、表面上の集積導波管がサンプルパルスを取り込み、裏面上の集積導波管がサンプリングすべきRF信号を取り込んでいる点にあった。またこの装置の構造は、第3層のマイクロストリップを含んでいた。サンプリングすべきRF信号は穴を介して、基板の頂部側のダイオードに導かれた。この穴を介した構成が、信号路内に余分の寄生インダクタンスを生じ、信号サンプラのバンド幅に制限をもたらしていた。

【0005】こうしたハイブリッド構造の性能は、3層構造がいかに良好に作製され位置合わせされているか、さらにサンプルパルス発生構造のサンプリングダイオードからの空間的分離に起因した固有の限界によって、制限されていた。数百GHzの範囲の周波数では、信号が導波管に沿って光速の約1/3で進むため、デバイス間のごくわずかな空間的分離でも損と分散を引き起こし、バンド幅を制限する寄生成分をもたらす。そのため、上記構造の製造における100ミクロンの不整合でも、1ピコ秒の誤差結果につながる。大きいバンド幅の場合、望ましいアパーチャ時間は5ピコ秒以下なので、そうした不整合誤差は、非常に短いサンプルパルスが発生する

り、バンド幅に著しく悪影響を及ぼす。微分器で速いエッジを得るためには、短いサンプルパルスが発生する構造とサンプリングすべき信号を搬送する信号ラインとの間を空間的にきわめて接近させる必要がある。

【0006】ハイブリッド構造を改良する試みが、1986年2月から始まったヒューレット・パッカード製信号サンプラの最新世代において認められる。この最新世代の信号サンプラでは、RF信号をサンプリングするのに集積ガリウムヒ素ダイオードが使われている。ビームリードがこれらのダイオードを、ガリウムヒ素ダイオードをオンさせるサンプルパルスが発生するステップリカバリダイオードに結合する。しかし、ここに説明する発明前には、当該分野の誰もがモノリシック設計のガリウムヒ素パルス発生器の実現を考えられなかったため、パルス発生器は微分器と共に同一基板上に集積されていなかった。ヒューレット・パッカードの設計においては、集積ダイオード、抵抗及びコンデンサがガリウムヒ素基板上に形成されている。これらの集積構成部品は、基板上のパッドに接着されたビームリードによって接続され、サンプラ回路のその他の要素との接続が行われる。集積されていない構造は、ガリウムヒ素ダイオードをオンするのに使われるサンプルパルスが発生するステップリカバリダイオードからの電圧ステップを微分する微分ラインと、別の基板上に集積されたマイクロストリップラインである。つまりヒューレット・パッカードの設計は、両者間の接続を含む少なくとも2つの基板を必要とする。このパルス発生回路とサンプリングダイオード間の空間的分離が、サンプラのバンド幅を制限する損、分散及び寄生を引き起こす。

【0007】多くの応用分野では、300GHz等非常に高い周波数を有するRF信号で動作を行うことが極めて望ましい。分析、試験及びその他の目的のため低周波数のオシロスコープでそれらの信号を見れるようにするには、それらをもっと低い周波数へ下降変換する必要がある。これを行う1つの方法は、それらの信号をサンプリングし、市販のオシロスコープで観測可能な周波数範囲内の低い周波数のレプリカ信号を発生することである。そしてこれを成すには、2ピコ秒以下程度のパルス幅を有するサンプリングダイオードをオンするサンプルパルスが発生可能な、非常に高いバンド幅の信号サンプラを必要とする。またこのためには、寸法の正確な制御と、完全集積プレーナ構造で得られるような全要素の近接が必要である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】そこで、パルス発生器とサンプリングダイオードとの間の空間的分離が最小であると共に、寸法の制御が非常に正確となるような、完全集積モノリシック設計に基づいた信号サンプラが求められている。

【0009】また、よりコンパクトな集積非線形伝送ラ

イン構造も求められている。この構造は、複数のショットキーバリアバクダイオードの負荷が加わったとき、約50オームの全体特性インピーダンスを生じるのに充分高い特性インピーダンスを有していなければならない。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の教示によれば、通常のプレーナ処理を用いると共に、サンプルパルスの立ち下がり時間圧縮のための集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインを用いて、ガリウムと素基板上に形成された完全集積モノリシック信号サンプラが示される。

【0011】ガリウムと素基板には、分子ビームエピタキシにより、N-層の下方にうめこみN+層を有するように層形成されている。このガリウムと素基板上に、ショットキーバリアバクダイオードから周期的に負荷が加わるコプレーナストリップ非線形伝送ラインの形状のパルス発生器が作製される。このデバイスが、局部発振器から受け取られたサンプルパルスを整形する。これらのサンプルパルスは、非線形伝送ラインの入力に到着したとき、第1の立ち上がり時間（または選択した規定によっては立ち下がり時間）を有し、この時間はサンプルパルスが非線形伝送ラインに沿って伝播するにつれ、電圧依存の関数キャパシタンスを有するバクダイオードによって変化する。この結果、信号伝播の群速度は電圧依存となる。サンプルパルスは非線形伝送ラインに沿って、一対のガリウムと素集積サンプリングダイオードの位置へ向かって伝播する。サンプルパルスがコプレーナ導波管非線形伝送ラインに沿って伝播するにつれ、サンプルパルスの立ち上がり時間はかなり短縮される。そして非線形伝送ラインから現れるサンプルパルスに関する立ち上がり時間は、入力パルスの100ピコ秒と比べ5ピコ秒以下となる。

【0012】コプレーナの導波管伝送ラインが同一の基板上に集積され、その入力で、サンプリングすべきRF信号を受け取る。好ましい実施例において、このRF信号は300GHzまでの周波数を取り得る。サンプリングダイオードはRF伝送ラインに、RFと入出力ポート間の絶縁分離を維持する平衡で、逆平行な関係で接続される。

【0013】集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインから現れたサンプルパルス（以後中間パルスと呼ぶ）が微分され、一連のデルタ関数サンプルパルスを発生する。これらのデルタ関数は、中間サンプルパルスの立ち上がり時間にほぼ等しいパルス幅を有する。各中間パルスが到着すると、それがサンプリングダイオードをオンする。微分は、分路インダクタ（誘導子）として作用するスロットラインに中間サンプルパルスを結合することによって行われる。スロットラインは、RF信号コプレーナ導波管伝送ラインの一対の短絡アース面部分から成る。集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインは、

0オームの成端を介してRF信号コプレーナ導波管伝送ラインの2つのアース面にだけ接続され、そこにスロットラインモードの伝播を励起する。中間パルスはスロットラインモードにおいて、集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインとRF信号コプレーナ導波管伝送ラインとの間の接続点から、RF入力へ向かって伝播する。伝播は、2つのアース面を短絡するエアブリッジ成端に至るまで続く。この短絡回路成端により、中間パルスは注入点に向かって逆方向に反射させる。

【0014】反射した各中間パルスが注入点に到着すると、それが一対の集積ガリウムと素サンプリングダイオードをオフする。これらのダイオードは集積コンデンサを介して、RF信号コプレーナ導波管伝送ラインのアース面導体に接続されている。これらのサンプリングダイオードは、中間パルスのRF信号コプレーナ導波管伝送ラインへの注入位置に隣接して集積される。

【0015】RF信号コプレーナ導波管伝送ラインのスロットライン部の寸法は、中間パルスの往復移動時間が中間パルスの立ち上がり時間にほぼ等しく、しかも特性インピーダンスはダイオードの両端間にできるだけ高い電圧を生起させるため、コプレーナストリップ非線形伝送ラインの特性インピーダンスと整合する78オームとなるように定められる。

【0016】ガリウムと素基板のN+層に形成される集積抵抗が、各サンプリングダイオードとそれに対応した集積コンデンサとの間のノードを接続する。このIF信号は、対応した位相点でRF信号の電圧と同じ電圧を有するが、RF信号の周波数よりかなり低い周波数を有するという点で、RF信号のレプリカである。

【0017】また本発明では、集積コプレーナストリップ(CPS)非線形伝送ラインも開示される。この構造は、エピタキシャル成長半導体の軽ドーブ活性領域の表面に集積された一対の平行導体から成る。この軽ドーブエピタキシャル層の下に、強ドーブエピタキシャル成長半導体の埋め込み層が存在し、これがエピタキシャル層内に形成されるダイオードの直列抵抗を減少させるのに使われる。絶縁分離アイランドがイオン打ち込み物の損傷により、CPSラインに沿って周期的に形成される。絶縁分離アイランド内に、ショットキーバリアバクダイオードが形成される。一部の実施例では、ダイオードに関して超段階ドーピングプロファイル（分布）が使われる。

【0018】各ダイオードのカソードは、軽ドーブエピタキシャル層を貫いてエッチングされた孔内に形成されたオーミック接点で、埋め込み層と直接接触している。アノード接点は、軽ドーブエピタキシャル半導体層と直接接触するショットキー金属である。アノード及びカソード両接点間の間隔は、設計規則によって許容される最小間隔に保たれる。ダイオードのアノードは全て、CPSラインの1つの導体に接続される。またダイオードの

カソード接点は全て、別のCPS導体に接続されている。

【0019】

【作用】すなわち本発明による集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインは、ガリウムヒ素の基板を備え、その上にエピタキシャル成長ガリウムヒ素からなる強ドーブの埋め込み層と軽ドーブの表面層とが成長される。軽ドーブ層の表面上に2つの平行な導体が集積され、伝送ラインの全長に沿って一連の電気絶縁分離されたアイランドが形成される。各アイランド内に、周期的にラインに負荷される電圧依存の接合キャパシタンスを与えるショットキーバラクタイオードが集積される。アノード及びカソード両接点は、直列抵抗を最小とするように、設計ルールでの最小距離だけ離間される。また、本発明による等価時間サンプリングを用いた高バンド幅のRFサンプリングは、ガリウムヒ素の基板上にサンプリングダイオードと共に集積されたRF信号コプレーナ導波管からなる。モノリシックな集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインが、同一基板上に集積されてサンプルパルスを受け取る。これらのパルスは、非常に速いエッジを有するように非線形伝送ラインによって再整形されている。このエッジが、RF信号コプレーナ導波管のスロットライン部分の短絡成端の分路インダクタンスによって微分される。こうして得られたデルタ関数状のサンプルパルスによって、サンプリングダイオード及び集積コンデンサが、低周波数で電圧変換損を含まないRF信号のレプリカである中間出力周波数を形成する。本回路を用いて、300GHzまでのRF信号をサンプリングできる。

【0020】

【実施例】図1を参照すると、本発明の教示に基づき集積態様で実施された信号サンプリングの概略図が示してある。図1の回路はRFポート10で、サンプリングすべき高周波のRF信号を受信する。局部発振ポート12は局部発振サンプルパルス（通常鋸波状）を、局部発振周波数の n 次高調波がサンプリングすべき周期的なRF信号の基本周波数から周波数デルタ（ Δ ）だけずれるような周波数で受信する。局部発振パルスは、インピーダンス $Z1$ と $Z2$ （それぞれ図1中14と16で示す）で抽象化して表した分路インダクタンスによって微分される。これらの分路インダクタンスは、サンプリングすべきRF信号を導く役割を果たすコプレーナ導波管のスロットライン部からなる短絡回路部分によって実施され、後で詳しく説明する。スロットラインがサンプルパルスをエブリッジ短絡回路成端の位置へ導き、サンプルパルスはそこでノード56と57に向かって逆方向に反射される。その結果ノード56と57の間に生じる電圧は、サンプルパルスの導関数である。サンプルパルスがスロットラインに沿って偶数モードで伝播する一方、RF信号はコプレーナ導波管に沿って奇数モードで伝播す

るため、両信号間の結合は最小限に抑えられる。

【0021】ノード56と57間に現れるサンプルパルスが、各サンプルパルスの発生毎にダイオードD1とD2をオンする。RF信号は局部発振周波数の n 次高調波から周波数デルタだけずれているので、サンプルパルスは各 n サイクル毎に1回RF波形をサンプリングする。その結果、中間周波数（IF）出力ポート24に中間周波数の出力信号が生じる。このサンプリングプロセスが図2に示してある。

【0022】図2において、波形22は図1中の中間出力ポート24における出力信号を表す。マーク表示した26、28、38、40、42及び44の各点は代表的なサンプル点で、RF波形34上の各点30、32、46、48、50及び52にそれぞれ対応する。波形34はサンプリングすべき信号で、周期的である。36で示したパルスは微分されたサンプルパルスを表し、デルタ関数と称される。サンプルパルスは、局部発振（LO）周波数である f_0 の反復度で発生する。デルタ関数が、用いるサンプルパルスの最も望ましい形状である。なぜなら、デルタ関数パルスの高調波振幅は、高調波スペクトル全体を通じて同等だからである。この結果、電圧変換損を伴うことなく、広い範囲のサンプリングすべきRF周波数が可能となる。また集積非線形伝送ラインが、入力サンプルパルスの立ち上がり時間を大幅に短縮可能とする。この速いエッジが微分されることで、速いエッジの立ち上がり時間に実質上等しいパルス幅を有するサンプリングパルスが得られる。このパルス幅はどこでも7.8ピコ秒から1.5ピコ秒となるので、本発明の集積モノリシック構造によれば、実質上0に近いパルス幅を有する真のデルタ関数の近似が得られる。

【0023】図2を見れば、サンプリングパルスの発生がRF波形34上のサンプル点及び22で示した波形上の対応点といかに対応しているかが分かる。サンプリングされた出力波形は、デルタの周波数で発生する。尚、サンプル点26における電圧がRF波形34のサンプル点30における電圧と対応する一方、サンプル点28における電圧はRF波形34のサンプル点32における電圧と対応する。同じく、サンプル点38、40、42及び44における各サンプル電圧が、RF波形34のサンプル点46、48、50及び52における電圧とそれぞれ対応する。

【0024】上記のサンプリングを達成する方法を、以下説明する。図1を参照し、まずRFがオフで、RF信号34がポート10に現れない場合を考える。局部発振器が時間 $t=0$ でオンされると共に、54で示したパルスなどの中間サンプルパルスがノード56に到着し始めたものとする。各中間サンプルパルスから生じた電流は電路58に沿って、RFコプレーナ導波管のスロットライン部のインダクタンスを表すインダクタンス区域 $Z1$ と $Z2$ を介して流れる。回路網の理論から、ノード56に

おける電圧は、局部発振ポート 1 2 における入力電圧の導関数に、短絡したスロットライン路の往復インダクタンスをそれと直列な抵抗で割った商に等しい定数を掛けたものに等しい。

【0025】尚、中間サンプルパルス 5 4 は、一方のエッジが他方のエッジよりはるかに短い。図 2 中 3 6 で示したようなデルタ関数のサンプルパルスを発生させるのは、このシャープな立ち上がり時間の微分である。最初のサンプルパルスは少なくとも 2 ボルトなので、サンプルパルスの継続時間中両ダイオード D 1 と D 2 を確実にオンする。パルスが終了するとき、大部分の電流がコンデンサ C 1 と C 2 を介して順方向に通過しているが、ごくわずかな電流がそれらを介して逆方向にも通過している。これによりコンデンサ C 1 と C 2 には電荷 Q が残る結果、ダイオード D 1 を逆バイアスする電圧 Q/C_1 と、ダイオード D 2 を逆バイアスする電圧 Q/C_2 を生じる。ここで各ダイオードはわずかに逆バイアスされるので、次のサンプルパルスは、最初のサンプルパルスによってオンされるほど確実に両ダイオードをオンしない。しかし、ダイオードは第 2 のサンプルパルスによっても順方向にオンされるので、第 2 サンプルパルスの導通終了後には、各コンデンサにはより多くの電荷が残される。このプロセスは、ダイオード D 1 と D 2 を介して及びそれらを迂回し抵抗 R 1 を介して生じる逆方向の電荷リークが、サンプルパルスの期間中に記憶される順方向の電荷とちょうど等しくなるまで継続する。パルス振幅と抵抗 R 1 が所定の場合、その平衡状態は常にダイオード両端間の一定電圧 V_r で生じる。

【0026】次に、RF 信号がオンされた場合を考える。但し、RF 信号の周波数は局部発振基本周波数の高調周波数に正確に等しいものとする。これは、サンプルパルスが各 RF 信号サイクルの同一地点で必ず発生する。従って、ダイオードがオンされる都度、RF 信号は図 1 中のノード 6 2 で同一電圧を有する。ここでダイオード D 1 と D 2 は、各ダイオードがその逆バイアス電圧 V_r を回復するまで、前の段落で説明したように自己バイアスする。つまり、サンプルパルスの到着したときノード 6 2 における電圧が V_{RF} であれば、安定状態におけるノード 6 4 の電圧は $V_r + V_{RF}$ 、ノード 6 6 の電圧は $-V_r + V_{RF}$ である。これは、抵抗 R 1 の中心タップノード 6 8 における電圧が単純に V_{RF} であることを意味する。

【0027】RF ポート 1 0 における RF 信号の基本周波数が局部発振器のある高調波から周波数デルタだけずれていれば、サンプルパルスは出力ノード 6 8 に、1/デルタ秒の間隔で RF 波形の完全な 1 サイクルをトレースするサンプル電圧を発生する。これは、理想的な場合電圧変換の損を生じることなく、RF 信号の時間軸が f_{RF}/Δ 倍スケール調整されたことを意味する。すなわ

スケール調整されている点を除き、RF 入力信号と同じである。

【0028】時間変域分野の機器では、RF 基本信号の形状を保存すると共に、RF 信号高調波の振幅も保存されることが重要である。もちろん、RF 信号がサイン波であれば、高調波は存在しない。しかし、本発明の信号サンプラは周期的などんな RF 信号に対しても動作するものであり、非サイン波状の周期的な信号は、その信号を表す時間変域関数のフーリエ拡張によって決まる高調波成分を有することが周知である。本発明の教示によれば、デルタ関数のパルス幅に実質上近似したパルス幅を有するサンプルパルスが使われる。その結果、対象とする高調波でも、局部発振周波数の高調波は単位強度となるため、電圧変換の損が生じない。

【0029】但し、本発明のシステムにおいては、RF 信号が各サイクルの小部分についてサンプリングされるため、電力変換の損が存在する。

【0030】図 2 における RF 信号 3 4 の時間アクセスと図 2 におけるサンプリング後波形 2 2 とを関連付ける時間スケールファクタ（倍率）は、 f_{RF}/f_{IF} である。但し、 f_{RF} はノード 6 8 における出力信号の中間周波数である。これは、RF 信号の周波数 f_{RF} と局部発振周波数の最も近い高調波との差周波数、すなわちデルタである。図 2 における信号 3 4 の時間軸上の実時間に上記スケールファクタを掛けると、図 2 中の信号 2 2 に関する時間軸上での等価時間が得られる。中間周波数の波形をオシロスコープに表示すれば、その表示の水平軸が上記等価時間となる。そして実際の時間は、それをスケールファクタで割ることによって得られる。図 2 に抽象的に示したプロセスを、「等価時間サンプリング」と称する。

【0031】図 3 を参照すれば、非線形伝送ラインの動作が要約してあり、本発明の教示に基づく等価時間サンプリング回路の動作を理解する手助けとなろう。非線形伝送ラインは、電圧依存の分路キャパシタンスとして機能するショットキーダイオードから周期的に負荷が加わる、比較的高いインピーダンスの伝送ラインである。図 3 は本発明で使われるような非線形伝送ラインの等価回路図で、図 4 (A) は非線形伝送ラインに入力する入力パルスを示し、図 4 (B) は非線形伝送ラインに沿って入力パルスが伝播した結果現れた出力パルスの形状を示す。ラインの各区分毎の伝播遅延時間は、伝送ラインのインダクタンスの平方根に、各区分毎のラインキャパシタンスを掛けたものに等しい。図 3 に示したダイオード極性の場合、ダイオードのキャパシタンスは電圧と共に増加するため、ライン上のより正の電圧はより長い遅延時間を有する。これにより、後方エッジのより負の部分は後方エッジのより正の部分及びピークに追いつき、後方エッジの立ち上がり時間（あるいは見方によっては遅下がり時間）も短縮する。さらに、電圧依存のキャパシ

タンスは図4(B)に示すように、より正のピークを前方エッジのより負の部分より後方に遅らせる。

【0032】電圧依存の遅延時間で、入力パルスの方のエッジが急勾配になり、他方のエッジの勾配が緩くなるが、ライン上における分散が両エッジの勾配を緩める。このため、パルスが非線形伝送ライン等に沿って伝播するにつれ、パルスの立ち上がり時間は減少し、これは最終的に、立ち上がり時間を短くしようとする非線形遅延の傾向が立ち上がり時間を長くしようとする分散の傾向とちょうど平衡するまで生じる。ダイオードと直列の抵抗を無視でき、ダイオードのキャパシタンスがラインの各区分毎のキャパシタンスよりもはるかに大きいとすれば、非線形伝送ラインの出力におけるパルスの最終的な限界立ち下がり時間は、ライン区分のインダクタンスの平方根に、各区分毎のキャパシタンスを掛けたもの程度またはそれ以上である。非線形伝送ラインをモノリシック集積回路の形で実施すれば、上記の限界立ち上がり時間はピコ秒以下となる。

【0033】現在の処理技術によれば、7.8ピコ秒から1.5ピコ秒の立ち上がり時間が得られる。図4

(B)におけるエッジ70の勾配はエッジ72の勾配と比べ無視できるので、図4(B)の波形の導関数は、エッジ72の立ち上がり時間と等しいパルス幅を有する狭いインパルス関数である。以下、図4(B)の波形上における両時点74と76間の時間を立ち上がり時間と称する。但し、これを立ち下がり時間と呼ぶこともある。

【0034】図1のダイオード配列を用いたのは、両ダイオードが局部発振器に対して同一極性を持つようにするためである。しかし、サンプリングすべきRF信号に対しては、両ダイオードが反平行として現れ、奇数高調波の歪みだけをRF信号に加える。この配列は、局部発振出力が平衡信号である一方、RF信号は非平衡となるため、RF信号と局部発振信号との間に自然の絶縁分離を与える。インダクタンス14と16で表した短絡伝送ラインが発振波形を微分するので、その波形は一連のインパルス以外の矩形波や鋸波ともし得る。局部発振器による一連のインパルスの発生は、可能だが困難である。

【0035】局部発振パルスが充分狭いとすれば、ダイオードのキャパシタンスとこれに直列の抵抗が、サンプルのバンド幅を2つの方法で直接決定する。第1に、RFラインに対する分路ダイオードのキャパシタンス負荷により、ダイオードでのRF電圧は周波数 $1/25C1$ の周波数応答で極を有する。つまり、300GHzのRFバンド幅の場合、ダイオード負荷のキャパシタンスは各ダイオード毎に10フェムトファラッド以下でなければならない。第2に、ダイオードのキャパシタンスとこれに直列の抵抗が、サンプリングダイオードのオン時間を決める。図1の回路では、サンプリングダイオードのオン時間が1.8ピコ秒(立ち上がり時間の10%から

られるのは、局部発振源の抵抗が100オーム、短絡スロットラインの特性インピーダンスが75オーム、直列のダイオード抵抗が60オームで、2つのダイオードの直列キャパシタンスが5フェムトファラッドに等しい場合に得られる。これは、印加サンプルパルスの85%地点でオンするようにバイアスされ、また短絡伝送ラインの往復時間が4ピコ秒であるとすれば、サンプリングダイオードは1ピコ秒の間オンとなり、ほぼ300GHzのバンド幅を生じる。

【0036】前記の例で与えた寄生要素に関する低い値と高いバンド幅を達成するには、局部発振器がサンプリング回路を、反射波が短絡回路成端から戻ってサンプリングダイオードを遮断する前に短絡スロットライン両端間で必要な電圧を発生するのに十分なエッジ速度で駆動する必要がある。これは、前記した例の設計の場合、非線形伝送ラインから現れる中間パルスの遷移時間つまりエッジ速度が、好ましくは4ピコ秒以下でなければならないことを意味する。局部発振器からの通常サイン波である入力パルスを再整形する非線形伝送ラインを用いることで、上記遷移時間の要件が満たされる。しかし、そのような速いエッジ速度を有するパルスを歪みなくサンプル回路の局部発振ポートへ結合するためには、非線形伝送ラインがサンプリングダイオードと微分回路と同一のチップ上に集積されねばならない。これは、基板の同一表面上への完全集積以外の、ハイブリッド技術やその他の構造技術は使えないことを意味する。というのは、それらの構造技術における寸法公差及び空間分離が損、分散及び寄生負荷、つまり寄生インダクタンスを生じ、非線形伝送ラインによって得られた速いエッジ速度を歪めたり、壊したりするからである。

【0037】本発明の教示によれば、サンプリングヘッドが基板上の、シングルレベルのメタライゼーションとエアブリッジを含めた非線形伝送ラインと同一側に集積される。本発明の教示に基づくモノリシック構造実現の要求は、マイクロストリップや同軸スロットライン局部発振器ドライブを用いた、サンプリングヘッド設計のためのどんな従来構造も使えないので極めて高い。

【0038】本発明の教示に基づくサンプリングヘッドの集積構造が、図5の概略平面図に示してある。図5において、RF入力ポート10は、集積コプレーナ導波管の中央導体80に接続された導電性パッドからなる。この集積コプレーナ導波管は、サンプリングすべきRF信号を、図5の中央に示したサンプリングダイオードD1とD2へ向かって搬送する役割を果たす。図5は、サンプリングヘッドのレイアウトを概略的に示しただけであり、正確な集積構造を示したものでない。正確な集積構造の詳細は、図7に与えてある。

【0039】RF信号用の集積コプレーナ導波管は、中央導体80と2つのアース面導体82、84とから成る。これは、図5の下側に位置したN1、N2、N3、N4、N5、N6、N7、N8、N9、N10、N11、N12、N13、N14、N15、N16、N17、N18、N19、N20、N21、N22、N23、N24、N25、N26、N27、N28、N29、N30、N31、N32、N33、N34、N35、N36、N37、N38、N39、N40、N41、N42、N43、N44、N45、N46、N47、N48、N49、N50、N51、N52、N53、N54、N55、N56、N57、N58、N59、N60、N61、N62、N63、N64、N65、N66、N67、N68、N69、N70、N71、N72、N73、N74、N75、N76、N77、N78、N79、N80、N81、N82、N83、N84、N85、N86、N87、N88、N89、N90、N91、N92、N93、N94、N95、N96、N97、N98、N99、N100、N101、N102、N103、N104、N105、N106、N107、N108、N109、N110、N111、N112、N113、N114、N115、N116、N117、N118、N119、N120、N121、N122、N123、N124、N125、N126、N127、N128、N129、N130、N131、N132、N133、N134、N135、N136、N137、N138、N139、N140、N141、N142、N143、N144、N145、N146、N147、N148、N149、N150、N151、N152、N153、N154、N155、N156、N157、N158、N159、N160、N161、N162、N163、N164、N165、N166、N167、N168、N169、N170、N171、N172、N173、N174、N175、N176、N177、N178、N179、N180、N181、N182、N183、N184、N185、N186、N187、N188、N189、N190、N191、N192、N193、N194、N195、N196、N197、N198、N199、N200、N201、N202、N203、N204、N205、N206、N207、N208、N209、N210、N211、N212、N213、N214、N215、N216、N217、N218、N219、N220、N221、N222、N223、N224、N225、N226、N227、N228、N229、N230、N231、N232、N233、N234、N235、N236、N237、N238、N239、N240、N241、N242、N243、N244、N245、N246、N247、N248、N249、N250、N251、N252、N253、N254、N255、N256、N257、N258、N259、N260、N261、N262、N263、N264、N265、N266、N267、N268、N269、N270、N271、N272、N273、N274、N275、N276、N277、N278、N279、N280、N281、N282、N283、N284、N285、N286、N287、N288、N289、N290、N291、N292、N293、N294、N295、N296、N297、N298、N299、N300、N301、N302、N303、N304、N305、N306、N307、N308、N309、N310、N311、N312、N313、N314、N315、N316、N317、N318、N319、N320、N321、N322、N323、N324、N325、N326、N327、N328、N329、N330、N331、N332、N333、N334、N335、N336、N337、N338、N339、N340、N341、N342、N343、N344、N345、N346、N347、N348、N349、N350、N351、N352、N353、N354、N355、N356、N357、N358、N359、N360、N361、N362、N363、N364、N365、N366、N367、N368、N369、N370、N371、N372、N373、N374、N375、N376、N377、N378、N379、N380、N381、N382、N383、N384、N385、N386、N387、N388、N389、N390、N391、N392、N393、N394、N395、N396、N397、N398、N399、N400、N401、N402、N403、N404、N405、N406、N407、N408、N409、N410、N411、N412、N413、N414、N415、N416、N417、N418、N419、N420、N421、N422、N423、N424、N425、N426、N427、N428、N429、N430、N431、N432、N433、N434、N435、N436、N437、N438、N439、N440、N441、N442、N443、N444、N445、N446、N447、N448、N449、N450、N451、N452、N453、N454、N455、N456、N457、N458、N459、N460、N461、N462、N463、N464、N465、N466、N467、N468、N469、N470、N471、N472、N473、N474、N475、N476、N477、N478、N479、N480、N481、N482、N483、N484、N485、N486、N487、N488、N489、N490、N491、N492、N493、N494、N495、N496、N497、N498、N499、N500、N501、N502、N503、N504、N505、N506、N507、N508、N509、N510、N511、N512、N513、N514、N515、N516、N517、N518、N519、N520、N521、N522、N523、N524、N525、N526、N527、N528、N529、N530、N531、N532、N533、N534、N535、N536、N537、N538、N539、N540、N541、N542、N543、N544、N545、N546、N547、N548、N549、N550、N551、N552、N553、N554、N555、N556、N557、N558、N559、N560、N561、N562、N563、N564、N565、N566、N567、N568、N569、N570、N571、N572、N573、N574、N575、N576、N577、N578、N579、N580、N581、N582、N583、N584、N585、N586、N587、N588、N589、N590、N591、N592、N593、N594、N595、N596、N597、N598、N599、N600、N601、N602、N603、N604、N605、N606、N607、N608、N609、N610、N611、N612、N613、N614、N615、N616、N617、N618、N619、N620、N621、N622、N623、N624、N625、N626、N627、N628、N629、N630、N631、N632、N633、N634、N635、N636、N637、N638、N639、N640、N641、N642、N643、N644、N645、N646、N647、N648、N649、N650、N651、N652、N653、N654、N655、N656、N657、N658、N659、N660、N661、N662、N663、N664、N665、N666、N667、N668、N669、N670、N671、N672、N673、N674、N675、N676、N677、N678、N679、N680、N681、N682、N683、N684、N685、N686、N687、N688、N689、N690、N691、N692、N693、N694、N695、N696、N697、N698、N699、N700、N701、N702、N703、N704、N705、N706、N707、N708、N709、N710、N711、N712、N713、N714、N715、N716、N717、N718、N719、N720、N721、N722、N723、N724、N725、N726、N727、N728、N729、N730、N731、N732、N733、N734、N735、N736、N737、N738、N739、N740、N741、N742、N743、N744、N745、N746、N747、N748、N749、N750、N751、N752、N753、N754、N755、N756、N757、N758、N759、N760、N761、N762、N763、N764、N765、N766、N767、N768、N769、N770、N771、N772、N773、N774、N775、N776、N777、N778、N779、N780、N781、N782、N783、N784、N785、N786、N787、N788、N789、N790、N791、N792、N793、N794、N795、N796、N797、N798、N799、N800、N801、N802、N803、N804、N805、N806、N807、N808、N809、N810、N811、N812、N813、N814、N815、N816、N817、N818、N819、N820、N821、N822、N823、N824、N825、N826、N827、N828、N829、N830、N831、N832、N833、N834、N835、N836、N837、N838、N839、N840、N841、N842、N843、N844、N845、N846、N847、N848、N849、N850、N851、N852、N853、N854、N855、N856、N857、N858、N859、N860、N861、N862、N863、N864、N865、N866、N867、N868、N869、N870、N871、N872、N873、N874、N875、N876、N877、N878、N879、N880、N881、N882、N883、N884、N885、N886、N887、N888、N889、N890、N891、N892、N893、N894、N895、N896、N897、N898、N899、N900、N901、N902、N903、N904、N905、N906、N907、N908、N909、N910、N911、N912、N913、N914、N915、N916、N917、N918、N919、N920、N921、N922、N923、N924、N925、N926、N927、N928、N929、N930、N931、N932、N933、N934、N935、N936、N937、N938、N939、N940、N941、N942、N943、N944、N945、N946、N947、N948、N949、N950、N951、N952、N953、N954、N955、N956、N957、N958、N959、N960、N961、N962、N963、N964、N965、N966、N967、N968、N969、N970、N971、N972、N973、N974、N975、N976、N977、N978、N979、N980、N981、N982、N983、N984、N985、N986、N987、N988、N989、N990、N991、N992、N993、N994、N995、N996、N997、N998、N999、N1000、N1001、N1002、N1003、N1004、N1005、N1006、N1007、N1008、N1009、N1010、N1011、N1012、N1013、N1014、N1015、N1016、N1017、N1018、N1019、N1020、N1021、N1022、N1023、N1024、N1025、N1026、N1027、N1028、N1029、N1030、N1031、N1032、N1033、N1034、N1035、N1036、N1037、N1038、N1039、N1040、N1041、N1042、N1043、N1044、N1045、N1046、N1047、N1048、N1049、N1050、N1051、N1052、N1053、N1054、N1055、N1056、N1057、N1058、N1059、N1060、N1061、N1062、N1063、N1064、N1065、N1066、N1067、N1068、N1069、N1070、N1071、N1072、N1073、N1074、N1075、N1076、N1077、N1078、N1079、N1080、N1081、N1082、N1083、N1084、N1085、N1086、N1087、N1088、N1089、N1090、N1091、N1092、N1093、N1094、N1095、N1096、N1097、N1098、N1099、N1100、N1101、N1102、N1103、N1104、N1105、N1106、N1107、N1108、N1109、N1110、N1111、N1112、N1113、N1114、N1115、N1116、N1117、N1118、N1119、N1120、N1121、N1122、N1123、N1124、N1125、N1126、N1127、N1128、N1129、N1130、N1131、N1132、N1133、N1134、N1135、N1136、N1137、N1138、N1139、N1140、N1141、N1142、N1143、N1144、N1145、N1146、N1147、N1148、N1149、N1150、N1151、N1152、N1153、N1154、N1155、N1156、N1157、N1158、N1159、N1160、N1161、N1162、N1163、N1164、N1165、N1166、N1167、N1168、N1169、N1170、N1171、N1172、N1173、N1174、N1175、N1176、N1177、N1178、N1179、N1180、N1181、N1182、N1183、N1184、N1185、N1186、N1187、N1188、N1189、N1190、N1191、N1192、N1193、N1194、N1195、N1196、N1197、N1198、N1199、N1200、N1201、N1202、N1203、N1204、N1205、N1206、N1207、N1208、N1209、N1210、N1211、N1212、N1213、N1214、N1215、N1216、N1217、N1218、N1219、N1220、N1221、N1222、N1223、N1224、N1225、N1226、N1227、N1228、N1229、N1230、N1231、N1232、N1233、N1234、N1235、N1236、N1237、N1238、N1239、N1240、N1241、N1242、N1243、N1244、N1245、N1246、N1247、N1248、N1249、N1250、N1251、N1252、N1253、N1254、N1255、N1256、N1257、N1258、N1259、N1260、N1261、N1262、N1263、N1264、N1265、N1266、N1267、N1268、N1269、N1270、N1271、N1272、N1273、N1274、N1275、N1276、N1277、N1278、N1279、N1280、N1281、N1282、N1283、N1284、N1285、N1286、N1287、N1288、N1289、N1290、N1291、N1292、N1293、N1294、N1295、N1296、N1297、N1298、N1299、N1300、N1301、N1302、N1303、N1304、N1305、N1306、N1307、N1308、N1309、N1310、N1311、N1312、N1313、N1314、N1315、N1316、N1317、N1318、N1319、N1320、N1321、N1322、N1323、N1324、N1325、N1326、N1327、N1328、N1329、N1330、N1331、N1332、N1333、N1334、N1335、N1336、N1337、N1338、N1339、N1340、N1341、N1342、N1343、N1344、N1345、N1346、N1347、N1348、N1349、N1350、N1351、N1352、N1353、N1354、N1355、N1356、N1357、N1358、N1359、N1360、N1361、N1362、N1363、N1364、N1365、N1366、N1367、N1368、N1369、N1370、N1371、N1372、N1373、N1374、N1375、N1376、N1377、N1378、N1379、N1380、N1381、N1382、N1383、N1384、N1385、N1386、N1387、N1388、N1389、N1390、N1391、N1392、N1393、N1394、N1395、N1396、N1397、N1398、N1399、N1400、N1401、N1402、N1403、N1404、N1405、N1406、N1407、N1408、N1409、N1410、N1411、N1412、N1413、N1414、N1415、N1416、N1417、N1418、N1419、N1420、N1421、N1422、N1423、N1424、N1425、N1426、N1427、N1428、N1429、N1430、N1431、N1432、N1433、N1434、N1435、N1436、N1437、N1438、N1439、N1440、N1441、N1442、N1443、N1444、N1445、N1446、N1447、N1448、N1449、N1450、N1451、N1452、N1453、N1454、N1455、N1456、N1457、N1458、N1459、N1460、N1461、N1462、N1463、N1464、N1465、N1466、N1467、N1468、N1469、N1470、N1471、N1472、N1473、N1474、N1475、N1476、N1477、N1478、N1479、N1480、N1481、N1482、N1483、N1484、N1485、N1486、N1487、N1488、N1489、N1490、N1491、N1492、N1493、N1494、N1495、N1496、N1497、N1498、N1499、N1500、N1501、N1502、N1503、N1504、N1505、N1506、N1507、N1508、N1509、N1510、N1511、N1512、N1513、N1514、N1515、N1516、N1517、N1518、N1519、N1520、N1521、N1522、N1523、N1524、N1525、N1526、N1527、N1528、N1529、N1530、N1531、N1532、N1533、N1534、N1535、N1536、N1537、N1538、N1539、N1540、N1541、N1542、N1543、N1544、N1545、N1546、N1547、N1548、N1549、N1550、N1551、N1552、N1553、N1554、N1555、N1556、N1557、N1558、N1559、N1560、N1561、N1562、N1563、N1564、N1565、N1566、N1567、N1568、N1569、N1570、N1571、N1572、N1573、N1574、N1575、N1576、N1577、N1578、N1579、N1580、N1581、N1582、N1583、N1584、N1585、N1586、N1587、N1588、N1589、N1590、N1591、N1592、N1593、N1594、N1595、N1596、N1597、N1598、N1599、N1600、N1601、N1602、N1603、N1604、N1605、N1606、N1607、N1608、N1609、N1610、N1611、N1612、N1613、N1614、N1615、N1616、N1617、N1618、N1619、N1620、N1621、N1622、N1623、N1624、N1625、N1626、N1627、N1628、N1629、N1630、N1631、N1632、N1633、N1634、N1635、N1636、N1637、N1638、N1639、N1640、N1641、N1642、N1643、N1644、N1645、N1646、N1647、N1648、N1649、N1650、N1651、N1652、N1653、N1654、N1655、N1656、N1657、N1658、N1659、N1660、N1661、N1662、N1663、N1664、N1665、N1666、N1667、N1668、N1669、N1670、N1671、N1672、N1673、N1674、N1675、N1676、N1677、N1678、N1679、N1680、N1681、N1682、N1683、N1684、N1685、N1686、N1687、N1688、N1689、N1690、N1691、N1692、N1693、N1694、N1695、N1696、N1697、N1698、N1699、N1700、N1701、N1702、N1703、N1704、N1705、N1706、N1707、N1708、N1709、N1710、N1711、N1712、N1713、N1714、N1715、N1716、N1717、N1718、N1719、N1720、N1721、N1722、N1723、N1724、N1725、N1726、N1727、N1728、N1729、N1730、N1731、N1732、N1733、N1734、N1735、N1736、N1737、N1738、N1739、N1740、N1741、N1742、N1743、N1744、N1745、N1746、N1747、N1748、N1749、N1750、N1751、N1752、N1753、N1754、N1755、N1756、N1757、N1758、N1759、N1760、N1761、N1762、N1763、N1764、N1765、N1766、N1767、N1768、N1769、N1770、N1771、N1772、N1773、N1774、N1775、N1776、N1777、N1778、N1779、N1780、N1781、N1782、N1783、N1784、N1785、N1786、N1787、N1788、N1789、N1790、N1791、N1792、N1793、N1794、N1795、N1796、N1797、N1798、N1799、N1800、N1801、N1802、N1803、N1804、N1805、N1806、N1807、N1808、N1809、N1810、N1811、N1812、N1813、N1814、N1815、N1816、N1817、N1818、N1819、N1820、N1821、N1822、N1823、N1824、N1825、N1826、N1827、N1828、N1829、N1830、N1831、N1832、N1833、N1834、N1835、N1836、N1837、N1838、N1839、N1840、N1841、N1842、N1843、N1844、N1845、N1846、N1847、N1848、N1849、N1850、N1851、N1852、N1853、N1854、N1855、N1856、N1857、N1858、N1859、N1860、N1861、N1862、N1863、N1864、N1865、N1866、N1867、N1868、N1869、N1870、N1871、N1872、N1873、N1874、N1875、N1876、N1877、N1878、N1879、N1880、N1881、N1882、N1883、N1884、N1885、N1886、N1887、N1888、N1889、N1890、N1891、N1892、N1893、N1894、N1895、N1896、N1897、N1898、N1899、N1900、N1901、N1902、N1903、N19

有するガリウムヒ素からなり、これら両層は分子ビームエピタキシによって形成される。N⁺層のドーピングは立方センチ当たり3×10¹⁸である一方、N⁻層のドーピングは立方センチ当たり3×10¹⁶である。中央導体80と2つのアース面導体82、84との間のほとんどの領域など、RF信号集積コプレーナ導波管の下方で絶縁分離する必要のある領域は、そのような領域内の物質を半絶縁物質へ変換するように、陽子打ち込みによって損傷される。これによって、半導体とアース面導体82、84との間の短絡が防止される。

【0040】エアブリッジ86が、サンプリングダイオードの上方に2つのアース面導体82、84と接続するように形成されている。同じく、エアブリッジ88がサンプリングダイオードより下方の位置で、2つのアース面導体82、84に接続されている。これら2つのエアブリッジ86と88は、アース面導体82と84からなるスロットライン用の短絡回路成端としての役割を果たす。これらの短絡回路成端により、アース面導体82と84に沿って伝播してきた入力サンプルパルスを、サンプリングダイオードに隣接した注入点へ向かって逆方向に反射させる。

【0041】サンプルパルスの注入点は、90で示してある。入力サンプルパルスは、入力サンプルパルスは、非線形伝送ライン96の中央電極94の金属から形成された接点パッド92に結合される。非線形伝送ライン96は、2つのアース面導体98と100も有する。非線形伝送ラインの構造は、後で詳しく説明する。サンプルパルスは、パッド92を介した中央電極94へのカップリングによって、非線形伝送ライン96に結合される。これによりサンプルパルスは、非線形伝送ライン96に沿ってコプレーナ導波管モードで伝播する。非線形伝送ライン96から現れた中間パルスは、スロットラインでの伝播を励起するように、RF信号コプレーナ導波管内へと90で結合される。つまり、中央導体102が注入点90でアース面区域106にだけ接続されると共に、非線形伝送ライン96のアース面導体98と100がアース面導体104に接続される。これによって、中間パルスはRF信号コプレーナ導波管内のスロットを横切って印加され、エアブリッジ86と88へ向かう中間パルスのスロットラインモードでの伝播を励起する。エアブリッジ108がアース面導体104と106の2つの部分を短絡して、非線形伝送ライン上における偶数モードの伝播を抑えると共に、RF信号コプレーナ導波管のアース面導体82における連続性を与える。

【0042】基板のN⁺層に形成された50オームの埋め込み抵抗110が、中間サンプルパルスを搬送するコプレーナ導波管を、その特性インピーダンスにおいて成端するのに使われる。非線形伝送ライン96の中央導体102が、N⁻層を貫いてエッチングされ且つ112と114で抽象的に示したものを介して埋め込みN⁺層と

オーミック接触する。RF信号コプレーナ導波管の中央導体80は、50オームの埋め込み抵抗110を越えて中央導体80の連続体と接触するエアブリッジに接続されている。

【0043】基板は導波管をその上に形成する前に、全体が陽子打ち込みで損傷され、半絶縁状態とされる。但し、一部の領域はその陽子打ち込み損傷から除かれる。これら除外領域は、抵抗110と抵抗126の埋め込み路、ダイオードD1とD2の接合領域、及び非線形伝送ラインの全ダイオードを含む。

【0044】非線形伝送ライン96の中央導体102は、抵抗110を介してアース面導体84に接続されている。非線形伝送ラインのアース面導体104と106は、RF信号コプレーナ導波管のアース面導体82へ電氣的に接続されている。その結果、非線形伝送ライン96から現れた中間サンプルパルスは、注入点90でRF信号コプレーナ導波管におけるスロットラインモードの伝播に結合される。各中間サンプルパルスが注入地点に戻ってくると、サンプリングダイオードD1とD2がそれによってオフされ、2つの集積コンデンサC1とC2を充電するプロセスを停止する。コンデンサC1とC2は各々、窒化物層の上に形成されたメッキ金のトッププレートからなり、該窒化物層は、コンデンサのボトムプレートを形成し且つアース面導体82と84と一致した蒸着ショットキーメタルの層上に形成されている。コンデンサC1とC2のトッププレートは、それぞれ116と118で示してある。

【0045】抵抗110は、図1中R2で示した抵抗を実施したものである。コンデンサC1とC2は図1中のコンデンサC1とC2に対応し、またダイオードD1とD2は図1中のダイオードD1とD2に対応する。ダイオードD1のカソードは、エアブリッジ117によってコンデンサC1のトッププレートに接続されている。ダイオードD1のアノードは、RF信号コプレーナ導波管の中央導体80用ショットキーダイオードの延長部からなり、非打ち込みN⁻基板の接合領域上へと延び、ショットキーダイオードを形成している。同じく、ダイオードD2のアノードはエアブリッジ119を介してコンデンサC2のトッププレート118に接続される一方、ダイオードD2のカソードはRF信号ラインの中央導体80の延長部からなり、オーミック接点でN⁻層の非打ち込み部分と接触しショットキーダイオードを形成している。

【0046】図1中の抵抗R1は、埋め込みN⁺層のうち陽子の打ち込み時にマスクで覆われた区域で実施されている。この領域は、2つの区域124と126として示してある。領域124はエアブリッジ121を介して、コンデンサC2のトッププレート118に接続されている。エアブリッジ121は、オーミック接点(図示せず)を介して埋め込み抵抗区域124に接続されてい

10

20

30

40

50

る。抵抗区域126はエアブリッジ123を介して、コンデンサC1のトッププレート116に接続されている。オーミック接点が、エアブリッジ123を埋め込み抵抗区域126に接続している。抵抗区域124と126の断面積と路長は等しく、各々の抵抗区域が等しい抵抗を有するようにされている。抵抗区域124は128でオーミック接点を介して、基板の表面上に形成された導電路130に接続され、導電路130は抵抗区域124をIF信号用の出力ノード68として機能する接点パッド132に接続している。抵抗区域126は134でオーミック接点に成端しており、オフチップ接続による出力ノード68でもある接点パッドと電気接触している。別々の接点パッド132と136により、回路を平衡させるのに必要であれば、各ダイオードを別個にわずかに異ならせてバイアス可能である。

【0047】別の非線形伝送ライン138が、サンプラのバンド幅を試験する目的で、RF信号コプレーナ導波管内へテスト信号を注入するのに使われる。この非線形伝送ライン138は本発明にとって重要でなく、サンプラの性能を試験するためにだけ使われるので省略してもよい。

【0048】35DBの減衰器140がRF信号コプレーナ導波管を成端することで、非線形伝送ライン138がRF入力ポート10に接続されたRF信号源に対して見えないようにしている。

【0049】図6(A)から6(D)を参照すると、本発明の好ましい実施例におけるサンプリングダイオード部分のさらに詳しい構造が示してある。図6(A)は図6(B)の構造において実施された概略図で、図6

(B)は構造のサンプリングダイオード部分を通るが、ダイオード構造のアノード部分は通らない断面図である。図6(C)は、本発明の好ましい実施例に基づく構造のサンプリングダイオード及びコンデンサ領域の平面図である。図6(D)は、各サンプリングショットキーダイオードの構造を示す断面図である。図6(C)中の断面線B-B'の位置が、図6(B)の断面位置を示す。図6(C)中の断面線D-D'の位置が、図6(D)の断面位置を示す。また、図6(A)は図1の概略図を、下側の図6(B)に示した構造と空間的に対応するように並べ換えたものである。図6(B)と6(D)における対応した構造は、対応した参照番号を有する。

【0050】図6(B)、6(C)及び6(D)を併せて参照することで、構造中のサンプリングダイオード部分のさらなる詳細が得られる。図6(C)において、ダイオードのアノードは、140と142でショットキーメタルの突出フィンガーとして示してある。N+ガリウムヒ素の活性領域は、各ダイオードについてそれぞれ144と146で想像線で示してある。

【0051】RF信号コプレーナ導波管の中央導体は、80で示してある。図6(B)においてこの中央導体

は、陽子打ち込みで損傷された基板の表面上に被着されたショットキーメタルの一部として見える。

【0052】図6(C)中の中央導体80右側のダイオードD1が、図6(D)に断面図で示してある。図6

(D)において、ダイオードのアノード142は、カソードとの接続を形成する2つのオーミック接点148と150間の活性領域146上に配されたストリップ状のショットキーメタルとして示してある。これらのオーミック接点は、図6(D)に示したN-層152を貫き、埋め込みN+層154のレベルにまで達する孔をエッチングして形成される。N-層を貫くこれらの孔は、カソード端子を形成するショットキーメタル156と158の2つの突出フィンガー下方に位置合わせされている。これらの孔148と150の輪郭は、それぞれ突出フィンガー156と158の下方として図6(C)に点線で示してある。オーミック接点は、102オングストロームのゲルマニウム、102オングストロームの金、100オングストロームのニッケル、6000オングストロームの金で構成され、これらを450℃の高温でアニールし合金を形成した構造からなる。ショットキーダイオードのアノード接点は、基板に直接接触して形成されたチタン、白金及び金を含む3層構造からなる。突出フィンガー156と158が図6(C)に160で最も分かり易く示すように、ショットキーメタルのU字状アイランドの脚を形成している。このショットキーメタルのU字状アイランドが図6(B)に最も分かり易く示すように、エアブリッジ162によってコンデンサC1のトッププレート116に接続されている。このエアブリッジ162は、図6(C)に160で示したショットキーメタルのU字状アイランドを、コンデンサC1のトッププレートのメッキメタル116につなぐ導電性金属のブリッジである。コンデンサC1は図6(B)に最も分かり易く示すように、コンデンサのボトムプレートから窒化物164の層によって分離されたメッキ金のトッププレート116からなる。コンデンサのボトムプレートは、ダイオードの各種構成部品やアース面導体84を形成するのに使われるショットキーメタルの層からなる。

【0053】RF信号コプレーナ導波管の中央導体80左側のダイオードD2の構造は、168で示したショットキーメタルのT字状アイランドがアノード用ショットキー接点140を形成するのに使われる点を除き、ダイオードD1の構造と同じである。このT字状部分168が、エアブリッジ170によってコンデンサC2のトッププレート118に接続されている。このトッププレートは、ショットキーメタル層82からなるコンデンサのボトムプレートから窒化物164の層によって分離されている。図6(B)に示した基板の全領域は、ダイオードの接合領域と埋め込み抵抗126を除き、陽子打ち込みされ半絶縁状態とされている。

【0054】図1に示した抵抗R1は、図6(B)の断

面図に最も分かり易く示されている。エアブリッジ171が、コンデンサC1のトッププレート116をショットキーメタルのアイランド172に接続している。このアイランド172は、N-層174を貫き下方のN+層までエッチングされたオーミック接点孔の上に形成されている。図6(B)では、抵抗区域126だけが見える。ショットキーメタル172は、N+層126と接した金-ゲルマニウム合金と接触し、オーミック接点を形成している。同様の構造がRF信号コプレーナ導波管の他方の側にも存在し、コンデンサC2のトッププレートと抵抗区域124との間を接触させている。

【0055】エアブリッジを形成する方法は、ガリウムヒ素の処理分野で周知であるが、明細書としての完全を期して簡単に説明する。好ましい実施例の構造を作製するプロセスの完全な説明は、付録Aとして添付してある。接続すべき2つのメタルパターン間にエアブリッジを形成する第1の工程では、メタルを被着してパターン形成し、接続すべき2つのノードを形成する。次いで、第1層のフォトレジストが被着され、ウェハ全体を被覆する。その後、ブリッジを形成すべき領域のフォトレジストが現像され、電気接続すべきメタル表面との接点孔を残す。次にメタル蒸着が行われ、一般に100オングストロームのチタン、2000オングストロームの金、さらに300オングストロームのチタンが蒸着される。この蒸着メタルは、接続すべきメタルノードの露出表面だけでなく、フォトレジストの露出表面も覆う。次に、第2層のフォトレジストが被着されて現像され、第2層のフォトレジスト中、エアブリッジを形成すべき領域に孔を開ける。第2層のフォトレジスト用現像工程は、後述する金層の電気メッキ用接点を作製するのに使われる接点孔を、蒸着メタル層に形成することを含む。エアブリッジを形成すべき箇所では、頂部のチタンをエッチング除去し、その下側の2000オングストロームの金層を露出させる。次いで、蒸着メタル層を電気接点としながら、2ミクロンの金をウェハ上に電気メッキする。金の電気メッキ後、ウェハにアセトンのスプレーして、フォトレジストのトップ層を溶解する。この結果、露出されたブリッジ領域の外側に、チタン、金及びチタンの蒸着層が残る。その後、ブリッジ領域外のこれら3層の蒸着メタルが、通常の方法でエッチング除去される。最後に、ウェハがアセトン中に浸漬され、フォトレジストの残りの層を溶解して、接続すべき2つのノード間をまたぐエアブリッジが得られる。

【0056】図7を参照すると、本発明の好ましい実施例によるサンプリグダイオード部分のレイアウトの平面図が示してあり、各種構造部品の相互接続をさらに詳しく示している。図7中、図5及び6に示した構造部品と一致する構造部品には同一参照番号を付す。エアブリッジ構造内の四角は、エアブリッジを支持するメタルポ

N+層とのオーミック接点を表す。アース面導体間のギャップを横切る多数のエアブリッジが、アース面導体の別々の区域を等しい電位に保ち、偶数またはスロットラインモードの伝播を抑制するのに使われる。中心導体102を含むコプレーナ導波管に沿ったサンプルパルスの伝播モードが偶数である一方、RF信号コプレーナ導波管のスロットライン部分に沿った伝播モードは奇数なので、RF信号コプレーナ導波管とサンプルパルスを搬送するコプレーナ導波管との間で結合はほとんど生じない。各コプレーナ導波管は2つの伝播モード、CPWとスロットラインを有する。ここではCPWつまりコプレーナ導波管モードと呼ぶ奇数モードは、ギャップを横切って中央導体から遠ざかり、アース面導体へと向かう電場線を有する。ここではスロットラインモードと呼ぶ偶数モードは、各アース面導体と中央導体との間のギャップを横切る同一方向を向いた電場線を有する。RF信号コプレーナ導波管への負荷が中央導体に関して対称である限り、スロットラインモードはRF信号を搬送するコプレーナ導波管モードと結合しない。尚図7に示すように、サンプリグダイオードとスロットを横切って接続された直列のコンデンサとは、RF信号ラインへ対称に負荷を加えるように配置されている。

【0057】CPWモードで非線形ラインから到着した中間パルスは、注入点90においてスロットラインモードでRF信号コプレーナ導波管に結合される。スロットラインに沿って両方向に2ピコ秒進んだ後、中間パルスは、スロットラインを形成する2つのアース面導体を短絡するエアブリッジに至る。このような1つのエアブリッジだけが図7に88で示してあり、注入点90より左側のエアブリッジは見られないが、図5に86で示されている。エアブリッジは中間パルス波形を短絡させ、4ピコ秒の往復時間後両ダイオードでの電圧を0に戻し、ダイオードを遮断する。ダイオード両端間に得られる電圧波形は、中間パルスを微分したものとして現れる。

【0058】サンプラ回路のバンド幅は大きいので、図5に138で示した内蔵TDRパルス発生器により、間接的にだけ測定可能である。この内蔵TDRパルス発生器は、局部発振中間パルスを発生するのに使われるのと同様である。非線形伝送ライン138の出力における遷移時間は、2.8ピコ秒程度になるべきである。サンプリグヘッドによって測定した遷移時間は、図8に示すように4ピコ秒である。ミリメートル当り8.5ピコ秒の立ち下がり時間減少を有する非線形伝送ラインが、もっと大きい振幅で2.5ピコ秒以下の立ち下がり時間を持つ立ち下がりエッジを与えるのに十分な長さであれば、図7のサンプリグヘッド設計によって200-300GHzのサンプリグヘッドバンド幅を達成可能である。中間パルスの出力振幅がもっと大きければ、微分するスロットラインをもっと狭くでき、RF信号コプレーナ導波管の伝播モードは、アース面導体間のギャップを横切る多数のエアブリッジが、アース面導体の別々の区域を等しい電位に保ち、偶数またはスロットラインモードの伝播を抑制するのに使われる。中心導体102を含むコプレーナ導波管に沿ったサンプルパルスの伝播モードが偶数である一方、RF信号コプレーナ導波管のスロットライン部分に沿った伝播モードは奇数なので、RF信号コプレーナ導波管とサンプルパルスを搬送するコプレーナ導波管との間で結合はほとんど生じない。各コプレーナ導波管は2つの伝播モード、CPWとスロットラインを有する。ここではCPWつまりコプレーナ導波管モードと呼ぶ奇数モードは、ギャップを横切って中央導体から遠ざかり、アース面導体へと向かう電場線を有する。ここではスロットラインモードと呼ぶ偶数モードは、各アース面導体と中央導体との間のギャップを横切る同一方向を向いた電場線を有する。RF信号コプレーナ導波管への負荷が中央導体に関して対称である限り、スロットラインモードはRF信号を搬送するコプレーナ導波管モードと結合しない。尚図7に示すように、サンプリグダイオードとスロットを横切って接続された直列のコンデンサとは、RF信号ラインへ対称に負荷を加えるように配置されている。

示した実施例で砂時計状にしてあるのは、ダイオードをオンするサンプルパルスの振幅を増すように路長を大きくしたことによるインダクタンスを強調したものである。サンプルパルスの振幅は、中間サンプルパルスの入力電圧の導関数に、注入点からエアブリッジに向かい再び戻る往復路のインダクタンスをその抵抗で割った定数を掛けたものに等しいから、インダクタンスが大きいほど、ダイオード両端間のサンプルパルスの電圧は増大する。

【0059】サンプリングブリッジ性能の改善は、より小さい抵抗のダイオードを用いることによって得られる。図7に示した実施例において、接合領域は2×5ミクロンで、これは12フェムトファラッド0バイアスのキャパシタンスを生じる。幾何形状とドーピングを適切に調整すれば、より低いダイオード直列抵抗、さらに場合によってはより低い接合キャパシタンスが達成可能である。

【0060】図5から7のサンプリングヘッド設計の変換効率について、図1のコンデンサC3で表した330ピコファラッドのキャパシタンス（チップ接続用のケーブルキャパシタンス）と1メガオームの並列抵抗による外部負荷を中間周波数出力ポートに加えながら、5GHzで測定したところ、測定精度（0.5dB）内で電圧変換損は認められなかった。電力変換損は43dBで、これはほぼノイズ値であった。これにより、1ヘルツの平方根当たり90ナノボルトの最小検出可能信号が得られる。中間周波数バンド幅が10KHzの場合、最小検出可能電圧は9マイクロボルトである。また本サンプラは、-60dBmから+3dBmの範囲で線形性が0.6%以内であることが認められた。RF-IF間の絶縁分離（「ブローバイ（blow-by）」が55dBであった一方、局発振器-IF間の絶縁分離は63dB、局発振器-RF間の絶縁分離（「キックアウト（kick-out）」は68dBであった。

【0061】理想的なサンプラは、RF信号を時間スケール調整したものがどんなRF周波数に対しても振幅の電圧変換損を伴わずに現れる中間周波数を除き、全てのポート間を完全に絶縁分離する。また、理想的なサンプラの局発振器とRFポートは、全ての周波数で完全に整合している。しかし、サンプラモデルで寄生を考慮すると、ダイオードのキャパシタンスと逆リークを介して、RFが中間周波数ポートへ直接結合つまり「ブローバイ」可能となる。ブリッジが完全に平衡されていないと、あるいは中間周波数のドライブが平衡されていないと、局発振器とRFポート間での絶縁分離損が生じ得る。かかる非平衡が、局発振パルスのRFライン上への「キックアウト」を引き起こす可能性がある。また非平衡は、局発振振幅に比例したDCオフセットを中間周波数電圧に生じる。本発明の教示に基づきサンプラ構造のレイアウトと設計の際には、これらの問題を考慮

に入れなければならない。

【0062】図5から7に示した構造以外のレイアウトも可能である。例えば、中間パルスを微分するのに直列コンデンサの構成も使えるが、微分回路を形成するのにスロットライン微分器の寄生インダクタンスが使えるので、図7に示したレイアウトの方が好都合である。

【0063】装置の作製については付録Aに詳しく説明してあるが、明細書としての完全を期し、作製の要旨を以下に示す。ショットキーダイオードが、ガリウムヒ素の分子ビームエピタキシャル物質の上に、立方センチ当たり3×10¹⁶のドーピングによる0.6ミクロンのN-活性層で形成される。立方センチ当たり3×10¹⁸のドーピングによる0.8ミクロンの埋め込みN+層が、ダイオードのカソードとの接続及び非線形ライン側では、2つのコプレーナ導波管アース面導体間での抵抗接続を与え、スロットラインモードでの伝播を抑制する。0.02オーム-ミリメートルの抵抗率を有するオーミック接点、0.75ミクロンの凹状エッチ、自己整合による金/ゲルマニウム/ニッケル/金のリフトオフ、及び450℃の合金化によって形成される。陽子の打ち込みは、平方センチ当たり7×10¹⁴の線量における110keVの打ち込みと、平方センチ当たり1×10¹⁵の線量における190keVの打ち込み両方を用いて行われる。この陽子打ち込みが、平方センチ当たり40メガオーム以上の絶縁分離を与えるのに充分なだけ、基板を損傷する。打ち込み中、1.4ミクロンのポリイミド層の上に1.6ミクロンの金マスクが、ダイオードの活性領域上のオーミック接点を保護する。相互接続は、0.1ミクロンのチタン/0.75ミクロンの白金/1.4ミクロンの金のリフトオフによって形成される。ショットキーダイオードは、中央導体が打ち込みされていないN-物質と重複する領域に形成される。

【0064】ミリ波のショットキーダイオードの他、本高速回路の作製は、単位面積当りのキャパシタンスが高いコンデンサと、キャパシタンスが低いエアブリッジのクロスオーバーを必要とする。単位面積当りのキャパシタンスはコンデンサC1とC2について、コンデンサの高い自己共振周波数を維持しながら、十分に高い結合容量のダイオードを可能とする上で必要である。コンデンサは、1/4波長の長さのとき共振する。窒化シリコンが誘電体で、20ミクロン幅、500フェムトファラッドのコンデンサの場合、自己共振周波数を対象の最高周波数の10倍（10×100GHz）に設定するためには、誘電体の厚さが700オングストロームでなければならない。そこで、誘電体の厚さは、1,000オングストロームの値とした。これより薄い窒化シリコンは、許容限度を越える高いピンホール密度を呈するからである。1,000オングストロームの窒化シリコンは、前記構造において約700GHzの共振周波数を与える。

【0065】窒化シリコンをコンデンサの誘電体として

選んだのは、前述した共振周波数条件にとって必要な7.3という高い相対誘電率を有するだけでなく、拡散バリア及びスクラッチプロテクタとして優れた性質を有するためである。これらは、窒化シリコンがマイクロ波用モノリシック集積回路の製造で最も広く使われている誘電体である理由と同じである。所定の工業規格に合致したこの誘電体を選ぶことで、サンプリグヘッド回路は製造の点からもより実用的となる。

【0066】各コンデンサは、全体のウェハ上に1000オングストロームの250°C PECVD窒化シリコンを被着し、下側のメタルと接触させるべき箇所に、C2F6プラズマ内での反応イオンエッチングにより孔を形成することによって作製される。コンデンサのボトムプレートがショットキーメタルである一方、トッププレートは2ミクロンのメッキ金である。コンデンサと同時にメッキされるエアブリッジが、トッププレートとの接触を成すのに使われる。

【0067】かなり複雑なミリ波回路に必要な最後の要素は、エアブリッジである。支持する誘電体を含まないクロスオーバーであるエアブリッジは、1.5ミクロンにわたってクロスオーバーしているメタルを取り除くために施される。空気の単位誘電定数に加え、この大きなギャップが、下側のメタライゼーションと極めて低い容量結合を行うエアブリッジのクロスオーバーを与える。

【0068】エアブリッジは以下に要約し、付録Aに詳しく説明した方法によって作製される。

【0069】サンプラの設計レイアウトで重要な特徴は、次の通りである：(1)ウェハの片側だけの処理によるモノリシック集積；(2)RFポートにおける50オームの入力整合；(3)サンプリグ構造を伝播するにつれてRF信号が劣化しないこと；(4)極めて短いサンプリグパルスのため局部発振器接続が十分なバンド幅を有すること；(5)局部発振ポートでの妥当な整合；(6)局部発振ポートでの平衡ドライブ；及び

(7)RFポートでの非平衡ドライブ。これらのうち第1の条件が、従来のサンプリグヘッド設計をすべて無効とするため、最も厳しい。この条件を実質上満たす図5から7に示した構造は、2つの交差するコプレーナ伝送ラインからなり、その一方が局部発振器からの鋸波形を搬送し、他方がサンプリグすべきRF信号を搬送する。

【0070】スロットライン微分器は、自然に平衡化された局部発振ドライブも与える。すなわち、局部発振コプレーナ導波管の中央導体における電流は、外側導体における電流と等しく、逆方向である。この電流がスロットラインモードのRF信号コプレーナ導波管に印加されたとき、RF信号ラインの中央導体に電流は誘起されない。RF信号ラインの中央導体に電流が誘起されないの

【0071】非線形伝送ラインからの中間パルスがRFスロットラインに印加されるとき、初期インピーダンスは、50オームの局部発振コプレーナ導波管成端抵抗110とすべて直列なサンプリグダイオードと並列な、RFスロットラインのインピーダンスである。RF電圧の大部分を成端抵抗110でなくダイオードの両端間に発生するためには、RFスロットラインインピーダンスができる限り大きくなければならない。また、高インピーダンスのスロットライン区域を達成するためには、RFアース面導体が基板厚の顕著な部分によって分離されねばならない。さらに、RF信号コプレーナ導波管のインピーダンスを50オームに維持するためには、同一の中央導体対スロット幅比を保つように、RF中央導体も大きくしなければならない。これが、図5に示した中央導体80とアース面導体82、84が砂時計形状となっている別の理由である。本発明のスケールモデル設定の結果、基板厚の3/8であるRFスロットラインのスロット幅は、78オームのスロットインピーダンスを生じることが示された。SPICEでのマイクロ波シミュレーションは、上記の値がダイオードの両端間に十分な電圧を発生可能とする十分な大きさであることを示している。ダイオードのサンプリググループを短く保つ必要に加え、高インピーダンスのスロットラインモードという要求が、RF信号コプレーナ導波管の砂時計形状をもたらすと共に、RF信号コプレーナ導波管を50オームの特性インピーダンスに保つ。

【0072】100GHz以上のバンド幅のサンプリグヘッドを作製する上での基本的な困難は、寄生素素が取り除かれるように、つまり設計に組み入れられるように、回路のレイアウトを設定することにある。分散構造として扱えないどの要素も、100GHzにおける波長の長さよりはるかに短く保たねばならない。このことはガリウムヒ素において、全ての塊状要素がそれらの最大寸法で100ミクロン以下でなければならないことを意味する。この要求は、2x5ミクロンのサンプリグダイオード接合領域によって容易に満たされる。しかしながら、局部発振回路ループ全体も、このクリティカルパスにおけるインダクタンスを最小限とするため、100ミクロンの設計ルールを満たすことが望ましい。これを達成するため、最小設計ルールを用いて、各要素をできる限り接近させて実装した。前述した厚いショットキーメタルのリフトオフ工程により、2ミクロンのラインと3ミクロンのスペースが可能となる。実装時点で、局部発振成端抵抗110、2つのサンプリグコンデンサ及び2つのサンプリグダイオードを含む局部発振器のループは、周囲長104ミクロンと測定された。

【0073】非線形伝送ラインの詳しい説明
図9を参照すると、非線形伝送ラインの概略図が示してある。この伝送ラインが、10で全体を示した入力端子

力端子16に現れる出力パルスへ変化させる。入力端子12から出力端子16へ伝播する過程で、信号の立ち下がり時間は時間 $T_{f,in}$ から、 $T_{f,out}$ に等しい出力信号の立ち下がり時間に減少される。入力信号10はソース抵抗22を介し、信号発生器18によって供給される。出力信号14は、負荷抵抗22に印加される。

【0074】入力端子12と出力端子16との間の非線形伝送ラインは、複数の区域からなる。各区域は、インダクタLとコンデンサCで構成される。好ましい実施例において、インダクタンスは伝送ラインのうち図12中XXで表した短い各区分によって実現される。伝送ラインのこれら短い区分は、特性インピーダンス Z_1 と、付録Bの式中ギリシャ文字 τ で示された時間単位の長さを有する。各コンデンサは好ましい実施例において、バラクタダイオード接合の形態を有する。各区分内のコンデンサが、伝送ラインの中央導体24を概略的に26で示したアース面導体に接続している。つまり、図9の非線形伝送ラインの第1区分は、インダクタ28とバラクタダイオード30で構成され、バラクタダイオード30は導体24に接続されたアノードとアース面導体26に接続されたカソードとを有する。導体24が、中央導体として機能する。バラクタダイオード30は、遷移キャパシタンスを有するPN接合を内部に有している。遷移キャパシタンスは、以下詳しく説明するように、接合が逆バイアスされ、空乏領域が形成されたときに生じる。遷移キャパシタンスは実際には、電圧の変化に伴う空乏領域の露出電荷における変化であるが、議論の目的上、コンデンサを2つの移動可能な導電性プレートと見なすことができる。これら2つの導電性「プレート」は、ダイオード接合が逆バイアスされたとき、空乏領域によって分離される。明細書としての完全性を期すため、伝送ラインの非線形性を読者が理解できるように、遷移キャパシタンスと空乏領域を以下簡単に説明する。この説明を行うには、ダイオード領域の断面を参照する必要がある。

【0075】図10を参照すると、一実施例によるバラクタダイオードの1つの構造を示すのに適した箇所における伝送ラインの断面が示してある。図10は、以下伝送ラインの特徴を論議する際に、詳しく説明する。ここでは、読者の注目をショットキー接点（ダイオード接合）38、空乏領域34、及びN- ドープエピタキシャル層36とN+ ドープエピタキシャル層44に向けることとする。オーミック接点46と48を含めたこれら3つの構成部分が、ショットキーダイオードを形成する。空乏領域34の境界を示した点線が、ショットキーダイオード接合に特定電圧レベルの逆バイアスが加わったときに、N- エピタキシャル層36内へ広がった空乏領域の範囲を表す。この空乏領域34が、逆バイアス電圧によって生じたN- エピタキシャルガリウムヒ素結晶格子に結合された露出不動電荷の量を表す。つまり逆バイア

ス電圧が、N- エピタキシャル層36内のドーパントによって支配された可動の多数キャリアを、接合38から遠ざかる方向に移動させる。N- 物質内において、これら多数キャリアは、結晶格子に付加されたN形不純物原子の原子核にルーズに結合された自由電子である。ダイオードのアノードに印加された負電位の影響下で、それらの可動キャリアがそれぞれの原子核から遠ざかると、ドーパント原子の原子核が露出されて残される。これらのドーパント原子は、接合から電子が遠ざかってしまったため電子より1つ多い陽子を有し、従って空乏層34を構成する不動の正電荷を表す。寸法 x_d が、空乏領域の幅を表す。この寸法は、逆バイアス電圧の増加と共に増大する。ショットキー接点38がダイオードのアノードで、N- エピタキシャル層36がダイオードのカソードである。カソードに対する負電圧がアノードに印加されると、ダイオードが逆バイアスされ、空乏領域34が形成される。逆電圧のレベルが増加すると、より多くの電子が接合から遠ざけられ、より多くの正電荷が露出されるため、寸法 x_d が増大する。この電荷を露出させるプロセスが、電圧の変化につれて電荷蓄積を変化させるプロセスを表し、これがコンデンサの実態である。かかる印加電圧の増加に伴う露出電荷の増大は、容量効果と見なすことができる。このキャパシタンスが、以下 C_j (v) と称する遷移キャパシタンスである。遷移キャパシタンスの大きさは、空乏領域内における電荷の変化を、その電荷変化を引き起こした電圧の変化によって割ったものに等しい。このキャパシタンスは文献において、遷移領域、空間電荷領域、バリヤ領域あるいは空乏領域キャパシタンスなど種々呼ばれている。電圧Vがより負になるほど空乏領域34の深さが増すので、より負の電圧Vほど遷移キャパシタンスは減少する。

【0076】逆バイアス電圧の変化に伴う寸法 x_d の変化量は、N- エピタキシャル層36のドーピングに依存する。逆バイアス電圧の変化が一定の場合、低いドーピングほど、空乏領域の幅において大きい変化をもたらす。

【0077】図9を再び参照すれば、上記した遷移時間の変化は、非線形伝送ラインの動作において次のような意味を有する。入力信号10が伝送ラインに沿って伝播すると、各ダイオードのアノードにおける瞬間電圧が時間と共に変化する。入力信号はアースに対して、全てのダイオードが逆バイアスされるような極性で印加される。各アノードでの逆バイアス電圧が変化すると、遷移キャパシタンスの大きさも変化する。伝送ラインの各区分毎の合計キャパシタンスは、図12に示した相互接続ライン部分XXによる電圧に依存しない固定キャパシタンスと、電圧に依存する遷移キャパシタンスとを合わせたものである。つまり、伝送ラインの各区分毎の合計キャパシタンスは電圧依存である。

【0078】伝送ラインの多くの特性は、伝送ラインの

各区分毎のキャパシタンスに依存する。区分毎のキャパシタンスが電圧依存であれば、それらのパラメータも電圧依存である。例えば、ラインの特性インピーダンス、群遅延及び群速度全てが電圧依存となる。

【0079】正確に言えば、ラインの各区分毎の電圧依存合計キャパシタンス (CT (V) で示す) と特性インピーダンスとの数学的関係は、付録Bの式1で与えられる。ラインの各区分毎の電圧依存合計キャパシタンスと群遅延との関係は、付録Bの式5で与えられる。付録Bのその他の式は、非線形伝送ラインの特性を考慮する際興味の対象となるその他各種の関係を定義している。すなわち、付録Bの式4は、段階接合ダイオードのキャパシタンスと該接合を逆バイアスするために印加される電圧との正確な数学的関係を定義している。付録Bの式6と7は、周期的な構造遮断周波数 w_{per} と、ダイード遮断周波数 w_{rc} と、区分毎の電圧依存キャパシタンス、区分毎のラインインダクタンス及びダイオードの直列抵抗との関係を与える。一般に、これらの遮断周波数が高いほど、ラインの出力で得られる立ち下がり時間は短くなる。

【0080】非線形伝送ラインに沿って伝播する際、電波波面の立ち下がり時間を圧縮するのは、群速度の電圧依存性である。この圧縮は、図11を参照すれば理解できよう。図11は、同図(A)においてVINで表した入力信号40と、同図(B)においてVOUTで表した出力電圧を示す。入力信号の立ち下がり時間は、 $T_{f,in}$ で表してある。出力信号の立ち下がり時間は、 $T_{f,out}$ で表してある。尚、ラインに沿った伝播中に圧縮が生じるため、出力信号の立ち下がり時間は入力信号の立ち下がり時間よりもかなり短い。この圧縮が行われるのは、入力電圧の波形上でより負の電圧を有する点の方が、その電圧波形上でより正の電圧を有する点よりも、非線形伝送ラインに沿って高速で進み且つ受ける遅延が少ないからである。これは、ラインキャパシタンスの電圧依存性、及びラインキャパシタンスと群遅延との関係による。この現象は図11a中、入力電圧の波形上の点40についてTHで示した遅延ベクトルが、その電圧波形上でもっと低い点42についてTLで示した遅延ベクトルよりも長いことによって象徴的に表してある。すなわち、電圧波形上の各点は異なる伝播速度を有し、従ってラインを通じて異なる遅延を有する。より高い電圧点の方がより低い電圧点よりも速く進み、遅延が小さいので、「トップがボトムに追いつき」、波形の形が変化し、図11

(B) に示したような出力波形の形となる。その結果、図11(A)の $T_{f,in}$ と比べ図11(B)の $T_{f,out}$ の持続時間が大幅に短いことから明らかなように、立ち下がり時間が圧縮される。より高い電圧点の方がより速い伝播速度を有する理由は付録Bに説明されており、当業者には充分理解されるであろうから、ここではこれ以上詳し

【0081】図12を参照すると、好ましい実施例に基づく非線形伝送ラインの平面図が示してある。図10、12、13及び14も併せて参照すれば、伝送ラインの詳細な構造が理解されるであろう。図10は、伝送ラインを作製する1つの方法に基づく、図12中の断面線10-10'に沿った伝送ライン内の1つのダイオードの断面を示している。伝送ラインは、モノリシックなガリウムヒ素基板42上に作製される。この基板42はその表面上に、N+エピタキシャル層44と、該エピタキシャル層44の上に形成されたN-エピタキシャル層36とを有する。図12では、これらエピタキシャル層の一部だけが、アース面メタル接点26と中央メタル接点24との間に見える。エピタキシャル層の部分は、36/44で示してある。2つの平行なメタル導体24と26が、伝送ラインの誘導部を形成している。中央導体24は、ショットキーダイオードのアノード接点も形成している。またアース面接点26は、ショットキーダイオードのカソード接点でもある。このカソード接点は、図10に最も分かり易く示すように、N+エピタキシャル層44とのオーミック接点で実現される。

【0082】オーミック接点46と48は、当該分野で周知のように、金ヒ素混合物を高温で合金化することによって形成される。いずれのオーミック接点合金でも接点46と48を形成し得るが、後で詳述する理由から、できるだけ低い接触抵抗を生じる合金及び技法を用いるのが好ましい。好ましい実施例において、オーミック接点46と48は、8%の金と12%のゲルマニウムの混合物を加熱し、ゲルマニウムをN+エピタキシャル層44内へ拡散させ、低抵抗接点を形成することによって形成される。アース面メタル接点26と中央アノード接点24は、各々金からなる。オーミック接点構造の2つの拡散バリア層50と52によって、アース面導体26の金がオーミック接点領域46と48あるいはその下側のN+エピタキシャル層44へと拡散するのが防止される。これで、金のN+エピタキシャル層44を介した基板42へのスパイキングを防ぐ。オーミック接点用に選ばれたメタル/ドーパント合金は、できるだけ低い融点を有するのが好ましい。基板42への金のスパイキングを防止できれば、その他の非合金接点構造を用いてもよい。但し、低い直列抵抗を有するように選ばれる接点構造は、同時にできるだけ高いダイオードの遮断周波数を維持することが重要である。

【0083】ダイオードのアノード接点は、白金拡散バリア54の上に金層24によって形成されている。白金拡散バリア54が、金層24をショットキー接点メタル56から分離し、金層24がショットキー接合を介して埋め込み層44へスパイキングしダイオードを短絡させるのを防止している。ショットキー接点のメタル層56は、好ましい実施例においてチタンである。しかし、シ

タルも使える。基本的には、ショットキーダイオードを形成するのにも金属も使える。このような金属には、アルミニウム、モリブデン、クロミウム、及びモリブデン／アルミニウムやチタン／タングステン等の合金が含まれる。金属層56として望ましい性質は、ガリウムヒ素基板に対し優れた接着性を呈すること、及び拡散作業の高温中あるいはその後の処理工程中、ガリウムヒ素内への金属の拡散が低いこと。また、金属層56として選ばれる物質が、老化、温度変化などによりダイオードを通過するリーク電流を変化させないという意味で、安定していることも望ましい。さらに詳しい情報については、参照によってここに包含されるガリウムヒ素処理に関する文献の271頁を参照のこと。

【0084】ダイオードのアノード接点56/54/24を形成するためのリフトオフプロセスは、半導体処理の分野において周知であり、参照によってここに包含される「ガリウムヒ素処理技術」の145頁に詳しく説明されている。ここでは、明細書としての完全を期し、そのプロセスの概略を示す。基板上の金属を施すべき領域で、ウェハ上に塗布したフォトレジスト層がマスクを介して露光される。他の領域はすべて、マスクで覆われている。次いで、フォトレジスト層は現像の前に、クロロベンゼンへの浸漬によって表面が硬化される。これによって、ガリウムヒ素基板から最も遠く離れた表面が、基板により近い領域よりも固くなる。その後、フォトレジスト層が現像される。現像剤は基板からより離れた固い物質よりも、基板により近い物質の方を早く取り去るので、露光されたフォトレジストの領域が取り除かれ、内側へのテーパ状エッジを有する孔を形成する。次いで所望の金属が、フォトレジストの孔を含め基板の表面上と、フォトレジスト自体の表面上に蒸着される。その後、フォトレジストが溶解されてフォトレジストの上の金属を取り去り、フォトレジスト層の孔内にそこで基板に付着された金属を残す。上記のプロセスが、ダイオードのアノード接点、最終的な相互接続メタライゼーション、及びオーミック接点を形成するのに使われる。またそのプロセスは、フォトレジストの孔内の金属がポリイミドの層上に形成されるように、ポリイミドの層がフォトレジストの層上に施される場合を除き、打ち込み用マスクを形成するのに使われる。金属のリフトオフ後、孔内の金属は、ウェハ全体を覆うポリイミドの層上に残る。次いで、ウェハが市販のポリイミド溶媒中に浸漬され、ポリイミド層のうち金属下方の部分を除く全てのポリイミドを溶解する。こうして得られた金属／ポリイミドサンドイッチが、陽子による絶縁分離打ち込み時における打ち込み用マスクとして機能する。

【0085】ショットキーダイオードのアノード接点を形成するのに、その他のゲート技術も使える。但し、これらその他のゲート技術の中には、高温にさらされると

【0086】N-エピタキシャル層36のドーピング濃度は、 $3 \times 10^{16} \text{ND 原子/cm}^3$ である。好ましい実施例におけるN+エピタキシャル層36のドーピング濃度は、 $3 \times 10^{18} \text{ND 原子/cm}^3$ である。

【0087】ショットキーダイオードは、内部に可動電荷キャリアを有する周期的に離間したエピタキシャル層36と44の絶縁分離アイランドが存在するように、エピタキシャル層を絶縁分離することによって形成される。その他の全領域で打ち込みが行われ、エピタキシャル層36と44内で結晶損傷を引き起こして電荷キャリアを不動化することによって、打ち込み領域内のエピタキシャル層を、実質上真性で高抵抗率のガリウムヒ素である状態に変換して戻す。この結晶損傷領域は図10中54と56で、エピタキシャル層36と44内の斑点パターンとして示してある。図13において非線形伝送ラインを上方から見ると、結晶損傷領域は、ダイオードが形成されるマスク領域62を除き、デバイスの領域全体を含む。マスク（非打ち込み）領域62以外で、打ち込み損傷がN-及びN+両層を半絶縁物質に変換し、ショットキー接点領域38を非打ち込み領域62内に制限する。それらの絶縁分離領域が電流路を、N-エピタキシャル層36とN+エピタキシャル層44を通り空乏領域からオーミック接点へ至る点線で示したように制限する。これら電流路は、図10中58と60で示してある。

【0088】各ショットキーダイオードに関する絶縁分離アイランドの境界の平面図が、図13に示してある。図13において、点線が金属接点24と26の輪郭を表す一方、実線62が絶縁分離打ち込みの境界を表す。実線62内の領域全てで、打ち込みが行われない。つまり、この周囲内におけるエピタキシャル層36と44中の電荷キャリアは、移動自在である。図12の鎖線で囲まれた部分の詳細を示す図14を参照すると、典型的なダイオードの領域の平面図が示してある。点線64と66が、オーミック接点46と48の周囲を限定している。中央金属接点24と絶縁分離アイランド62との交差領域によって限定された領域38が、ショットキーダイオードの接合領域を限定している。

【0089】図12中の寸法Pが、ダイオードのピッチつまり周期性を決定する。好ましい実施例において、ピッチは160ミクロンである。好ましい実施例では10ミクロンの設計ルールが使われ、これは図14に示したダイオードの接合領域38が10ミクロン×10ミクロンであることを意味する。またこれは、中央導体24とアース面導体26との間のスペースも10ミクロンであることも意味する。より小さい接合領域とより狭いスペースが、後で詳述する理由から、デバイスの性能を改善する。

【0090】最小圧縮立ち下がり時間 $T_{f, \min}$ は、周期的なライン波数 λ と電圧レバクタダイオードのRC遅延

周波数 wrc とによって主に設定される。これら2つの遮断周波数の表現が、付録Cの式6と7にそれぞれ与えられている。ガリウムヒ素基板上への伝送ラインのモノリシク作製によって、上記2つの遮断周波数は0.1-1テラヘルツ(THz)程度とし得る。これにより10ミクロンの設計ルールで、5-10ピコ秒程度の圧縮立ち上がり時間を得ることができる。好ましい実施例において、集積非線形伝送ラインは42個のダイオードを備える。これらのダイオードは各々、90オームのコプレーナ波導管伝送ラインに沿って160ミクロンの間隔(タウ(τ)=1.4ピコ秒)で、約0.8ボルトの接合電位ファイ(ϕ)と約50フェムトファラッドの C_{jo} とを有する。この結果、140ギガヘルツの周期的なライン遮断周波数が得られる。計算によれば、ライン電圧が0から-2ボルトに変化すると、特性インピーダンス Z_0 (v)は44-55オーム変化し、群遅延 $T(v)$ は25ピコ秒だけ変化する。

【0091】図10において、N-エピタキシャル層36はZ方向の厚さが0.6ミクロンである。N+エピタキシャル層44は好ましい実施例において、Z方向の厚さが0.8ミクロンである。

【0092】ダイオード内の電流は、図10中の電流路58と60に沿って、アノードからカソードへ流れる。電流路58と60に付随して直列抵抗が存在し、これがダイオードの遮断周波数 wrc を制限するダイオードの直列抵抗となる。この直列抵抗は、3つの成分に分けられる。第1の成分は、N-エピタキシャル層36のうち空乏領域34のボトムからN+エピタキシャル層44との接合までの部分における電流路の抵抗である。この抵抗成分は、合計直列抵抗の約20%を占め、電圧に伴い空乏層34の深さが変化することによって変化する。抵抗の第2成分は、N+エピタキシャル層44を通してオーミック接点46と48の位置に至る電流の流れに起因した成分である。この抵抗成分は、合計直列抵抗の約60%を占める。合計直列抵抗の残り20%は、オーミック接点46と48の抵抗に起因している。アース面接点26と中央接点24との間の間隔が狭いほど、電流路の合計長さと合計の直列抵抗が減少するのは明かである。また、オーミック接点の直列抵抗の改善によって、ダイオードの遮断周波数は上昇する。

【0093】N+エピタキシャル層44は、図18中メタル接点26で示した2つのコプレーナ導波管アース面導体間の抵抗接続も与える。この抵抗接続は、伝送ライン上における望ましくない非平衡「スロットライン」モードの伝播を抑制する。

【0094】図10のデバイスは、以下のように作製される。デバイスの作製は、望ましい圧縮度を達成するのに十分な数の伝送ラインの区分を得られる十分な長さを有する、非ドープのガリウムヒ素基板から出発する。好ましい実施例では、42個のダイオードが160ミクロン

ンの中心-中心間隔で使われる。ラインに必要なダイオードの最小数は、入力信号(Tf_{in})の立ち下がり時間を、波形の最高電圧点と最低電圧点との間の遅延差で割ったものに等しい値より約20%大きい。この遅延は、付録Cの式5で与えられる。20%の比率が必要なのは、最終的な最も短い立ち下がり時間への圧縮には漸近的に近づくからである。

【0095】第1の実際の処理工程で、2つのエピタキシャル層36と44を成長させる。好ましい実施例において、これらの層は分子ビームエピタキシにより、前述した厚さに成長される。その他どんなエピタキシャル法によって、これらの層を成長させられる。例えば、液相または気相エピタキシの他、有機金属化学蒸着を意味するMOCVD等も使える。上記の処理及びここで説明するその他の処理工程を実施する方法は、Ralph Williams著「ガリウムヒ素処理技術」、ISBN 0-89006-152-1(Artech House社、1984)に詳しく説明されており、該文献は参照によってここに含まれるものとする。

【0096】エピタキシャル層がそれらの形成時、ここで示したドーピングレベルによる一様なドーピング分布を有するように形成される。エピタキシャル層ヘドーピングを行うのに、拡散を用いることは考えられない。なぜなら拡散では、エピタキシャル層36内に高すぎるドーピングレベルを残さないで、エピタキシャル層44を深くドーピングできないからである。

【0097】次に、0.06オーム/mmの抵抗率を有する2つのオーミック接点46と48が形成される。これらのオーミック接点は、0.75ミクロンの凹状エッチ、自己整合による(88%金-12%ゲルマニウム)/ニッケル/金のリフトオフ技術、及び450℃の合金化あるいは12秒の急速熱アニールを用いて形成される。急速熱アニール処理の方が、より低い接点抵抗を達成できるので好ましい。

【0098】図15は、2つのエピタキシャル層36と44の形成後であり、オーミック接点メタルの被着後で、且つリフトオフの直前におけるウェハの状態を示す。フォトレジストの層68は、第1マスキングレベルの形状を表す。接点孔70と72は、フォトレジスト層68をエッチングマスクとして用いて、エッチングされる。このエッチングは、10ミクロンの設計ルールであるため、湿式化学エッチングを用いて行われる。別の実施例として2ミクロンの設計ルールを用いる場合、接点孔70と72を形成するエッチング工程は、プラズマエッチングで行ってもよい。接点孔をN-エピタキシャル層36を貫いてエッチングした後、通常のメタル蒸着工程を行う。このメタル蒸着工程ではフォトレジスト層68を用い、接点孔70と72が形成される領域を除いたN-エピタキシャル層36の全ての層を保護する。これを行うため、高真空レベルに排気したチャンバ内にウェハを入れる。続いて、所望の合金からなる金-ゲルマニウム

混合物で満たされたるつぼ内へ、高エネルギーの電子ビームを差し向ける。電子ビームが、混合物のうちるつぼの中心にある部分を蒸発させ、図15中46と48で示したオーミック接点の第1層及びフォトレジスト層68上の層74として、金及びゲルマニウム原子を所定の比率で被着せしめる。これらの層の被着後、金-ゲルマニウムのターゲットるつぼが電子ビームの経路から外れるように回転され、ニッケルを含むるつぼがビームの経路内へと入れられる。次いで高エネルギーの電子ビームが、ターゲットるつぼ内のニッケルの一部を蒸発し、先に被着された金-ゲルマニウム層の上にニッケル原子を被着せしめる。ニッケル層は、オーミック接点の位置である50と52及び層74の上の76として示されている。

【0099】上記2つの金属層の被着後、フォトレジスト層68が化学浴内で溶解され、金属層74と76を除去する。一部の実施例では、フォトレジスト層68の除去前に、別の金属層（図示せず）がニッケル層50と52の上に蒸着される。かかる実施例では、その金属層の被着後、フォトレジスト層68が除去される。その後構造全体が、拡散炉内で30秒間あるいは急速熱アニール装置内で12秒間、450℃の合金処理に付される。この高温工程中、金属層46と48内のゲルマニウム原子がN+エピタキシャル層44内に拡散し、低抵抗のオーミック接点を形成する。またその高温工程中、ニッケル層50と52が拡散バリアとして機能し、ニッケルの上に被着された金が金-ゲルマニウム層46と48内へ拡散するのを防ぐ。同時にこれは、金がエピタキシャル層44内へ拡散して、ガリウムヒ素基板へと「スパイキング」するのを防止する。

【0100】次の工程では、ショットキーダイオードが形成される絶縁分離アイランドを画定する目的で、陽子打ち込みを行う。図16は、陽子打ち込みの工程と、絶縁分離アイランドの境界を画定する金77/ポリイミド78打ち込みマスクの形状を示す。打ち込みマスク77/78は、平面図においてすなわちZ軸方向に沿って下方を見て、図13に示すような形状を有する。絶縁分離打ち込みの目的については、すでに前に述べた。エピタキシャル層36と44のうち打ち込みマスク77/78の下方に位置した部分だけが、打ち込み工程を行った後、電流を自由に導通可能である。好ましい実施例において、打ち込みは陽子を用いて行われる。なぜなら、陽子は比較的容易に、約190KEVのエネルギーレベルでガリウムヒ素内に必要な深さにまで打ち込みを行えるからである。前述した結晶損傷を生じるようななどの打ち込みでも、本発明の実施目的を果たすのに充分である。好ましい実施例において、陽子打ち込みは2つの工程で行われる。第1の工程は、 6×10^{14} /平方センチの線量レベルによる190KEVでの打ち込みである。第2

による160KEVでの打ち込みである。これらの打ち込みは、40メガオーム/平方センチ以上の絶縁分離特性を与える。絶縁分離マスク77/78は、77で示した1.6ミクロンの金と、オーミック接点及びダイオードの活性領域となる領域62を覆う1.4ミクロンのポリイミド78からなる。

【0101】最後の処理工程では、第3のマスクレベルでのフォトリソグラフィ工程を行い、図10におけるショットキーアノード接点24の位置とアース面金属接点26の形状とをリフトオフ技術によって画定する。得られたフォトレジスト層を現像した後、金属蒸着を行い、図10中56で示すように0.1ミクロンのチタンを被着する。チタンの被着後、チタンのるつぼを回転して経路から外し、代わりに白金るつぼをターゲット位置へと回転する。次いで、高エネルギーの電子ビームを施してるつぼ中心の白金部分を蒸発させ、図10中54で示した0.1ミクロンの白金拡散バリアを被着する。最後に、白金るつぼを回転して経路から外し、代わりに金るつぼをターゲット位置へと回転する。そして、第3の蒸着工程が行なわれ、1.4ミクロン厚（Z方向）の金接点24を被着すると共に、金のアース面接点26と伝送ライン導体24を形成する。実施例によっては、アース面導体26と伝送ライン導体24を第4のマスクレベルで別々に形成してもよい。ショットキーダイオードは、各絶縁分離アイランドのチタン層56の下側に位置した10ミクロン×10ミクロンの領域内に、チタン金属被着と絶縁分離アイランドとの自己整合交差によって作製される。これにより、デバイスの作製は完了する。

【0102】図10及び12の構造の非線形伝送ラインによれば、約5ピコ秒あるいはそれよりすぐれたゲートインパルスを発生するのに充分短い圧縮立ち下がり時間を得られるように、構造の寸法を構成可能である。このようなゲートインパルスは、図10及び12の構造の非線形伝送ラインでの圧縮後における出力の階段状遷移を微分することによって得られる。サンプリングオシロスコープとネットワークアナライザで使われるダイオードサンプリングブリッジのバンド幅は、ダイオードをゲート制御するパルスの持続時間によって主に制限される。ゲートパルスが約5ピコ秒の持続時間を有する場合、サンプリングオシロスコープ用の2つのダイオードサンプリングブリッジのバンド幅は、現在の20ギガヘルツレベルから100ギガヘルツへ拡張可能となる。

【0103】図10及び12に示した構造の非線形伝送ラインから得られる最短の立ち下がり時間を制限する因子の1つは、ショットキーバクタダイオードの遮断周波数である。この遮断周波数は、付録Cの式7によって定義される。圧縮量を制限する別の因子は、周期的な構造の遮断周波数である。この遮断周波数は、付録Cの式6によって定義される。図10及び12に示した非線形

伝送ラインの構造で、しかも構造寸法の一部のスケール調整にもっと厳しい設計ルールを採用した場合には、立ち下がり時間が約4ピコ秒の階段関数を得ることができる。これは、電気的手段で現在得られる立ち上がり時間と比べ、6倍の改善である。プロセスをさらに改善し、設計ルールをもっと厳密にすれば、ピコ秒以下の立ち上がり時間も可能である。

【0104】図10及び12に示した構造の物理的寸法とそれによって得られる圧縮量との関係について、次に検討する。初期電圧 v_h 、最終電圧 v_l 及び立ち下がり時間 f_{in} の入力信号 $V_{in}(t)$ がラインに沿って伝播すると、立ち下がり時間は始め距離と共に線形に減少する。パルスの立ち下がり時間が減少するにつれ、構造の遮断周波数 w_c に原因した分散が、電圧依存の伝播速度に原因した圧縮と競合するようになる。 $2.2/w_c$ 程度またはそれより長い最終的な限界立ち下がり時間に達するのは、ラインの非線形性による各区分毎のエッジ圧縮が、ラインの分散による各区分毎のエッジ拡張に等しくなるときである。出力の立ち下がり時間は、付録Cの式8で与えられる。式8中の $T_{f,min}$ は、式7で与えたダイオード遮断周波数 w_{rc} 及び式6で与えた周期的遮断周波数 w_{per} の両方に逆比例して変化する。 $T_{f,min}$ の正確な計算は、コンピュータによるシミュレーションを必要とする。

【0105】ダイオード構造のライン周期性が遮断周波数 w_{per} をもたらし、これは付録Bの式9の陰関係によって与えられ、付録Bの式6に単純化されている。式9中の項 C_{ls} は、バラクタの大信号キャパシタンスで、付録Bの式10によって定義される。

【0106】ライン上のあらゆる地点で、伝播する波が十分に長い立ち上がり時間を有するような入力信号 $v_{in}(t)$ の場合、伝送ラインの出力は付録Bの式11で与えられる。この式は、式11と5の間の関係に見られるように、ラインに沿って伝播する速度信号の電圧依存性に基づいて圧縮が発生することを示している。

【0107】ラインの性能は、周期的な遮断周波数 w_{per} を高めることによって改善可能である。これは、ダイオード間隔(変数タウ)を減少することによって行える。しかしながら、タウ(ピッチ)の減少は、(付録Bの式1における)各区分毎のインダクタンスが減るため、付録Bの式1で与えられる小信号特性インピーダンスを減少させると共に、付録Bの式12で与えられる大信号特性インピーダンスも減少させる。尚、ラインの特性インピーダンスは付録Bの式12で定義される。これは、前述した理由から、電力伝達効率にとって望ましくない結果である。このため、付録Bの式12で与えられる大信号特性インピーダンス Z_{ls} は、約50オームに制限される。他の実施例では、特有の用途に応じて異なる特性インピーダンスも使える。しかし、好ましい実施例

で、ダイオード間隔タウを減じながら上記の制約を満たすためには、大信号バラクタキャパシタンス C_{ls} も、各区分毎の伝送ラインインダクタンスである L のスケール調整と比例してスケール調整しなければならない。この場合、周期的な遮断周波数 w_{per} は、バラクタ用の最小接合領域に関するリソグラフィ上の制約によって制限される。バラクタ直列抵抗 r_s が、バラクタ遮断周波数 w_{rc} をもたらし、このバラクタ遮断周波数が周期的遮断周波数 w_{per} よりもはるかに小さいと、バラクタ遮断周波数が圧縮立ち上がり時間を約 $2.2 r_s C_{ls}$ に制限する。周期的なライン遮断周波数 w_{per} を除けるとすれば、上記定数が圧縮立ち下がり時間にとって基本的な制限となる。もちろん、実際にはどちらの遮断周波数も取り除けないので、両方の影響を考慮しなければならない。

【0108】10ミクロンの設計ルールで、90オームのコプレーナ導波管伝送ラインに沿ったダイオード間隔が160ミクロンの場合、図10及び12に示した構造の合計回路面積は、約 $8\text{mm} \times 0.3\text{mm}$ である。周期的なライン遮断周波数が約140ギガヘルツの場合、ダイオードの抵抗がゼロであれば、4ピコ秒の最小圧縮立ち下がり時間が得られる。ダイオードの抵抗が10オームだと、7.5ピコ秒の最小圧縮立ち下がり時間が得られる。

【0109】非線形伝送ラインでピコ秒以下のパルスを発生するためには、ラインの周期性遮断周波数 w_{per} とバラクタ遮断周波数 w_{rc} の両方が高められねばならない。好ましい実施例では50オーム程度と言うラインインピーダンスに関する制約のため、ダイオード間隔

(L)がダイオードの接合領域($C_j(v)$)とスケール調整されねばならない。また、ダイオードのキャパシタンスを減少し且つ w_{per} を高めるためには、デバイス活性層のドーピングを 3×10^{16} 原子/cm³以下に減少させるか、あるいは接合領域を前述した10ミクロン \times 10ミクロンの面積より小さくしなければならない。これら2つの手法のうちでは、起こり得るパンチスルーを避けるのに十分な厚いN-層とするためN-エピタキシャル層36のドーピング濃度を減らすと、ダイオードの遮断周波数が劣化する上、空乏層の幅 x_d が急速に増加するので、接合領域の減少によってキャパシタンスを減少させる方が望ましい。

【0110】バラクタ遮断周波数 w_{rc} の上昇は、ダイオードの直列抵抗 r_s を減らすことによって達成できる。この抵抗減少は、オーミック及びショットキー両接点の間隔を減らすことによって達成できる。図10中、接点間隔の減少がより小さい寸法をA1及びA2をもたらし、これで電流路58と60の長さが減り、直列抵抗を減少させる。直列抵抗のさらなる改善は、オーミック接点46と48によって与えられる直列抵抗が最小となるように処理を用いること、ショットキー接点の物質を選択し、N-

+ エピタキシャル層44を強くドーピングすること、及びN- エピタキシャル層36の厚さを最大可能な空乏層幅 x_d となるように最適化することによって行える。つまり、N- エピタキシャル層36の厚さは、N- エピタキシャル層36に対する空乏層34の最大侵入深さにできるだけ近づけるべきである。これにより、空乏層34のエッジからエピタキシャル層36とエピタキシャル層44の間の接合54に至る電流路区域が最小限となる。

【0111】図17は、非常に大きい幾何寸法で構成された非線形伝送ラインのスケールモデルにおける、500ピコ秒の入力立ち下がり時間から100ピコ秒の出力立ち下がり時間への圧縮を示すグラフである。

【0112】図18及び19は、別の実施例を示す。図18は非伝送ラインの1つのダイオードの断面図で、ショットキーダイオードのアノード接点下方の領域を除いた全ての箇所、N- エピタキシャル層がエッチング除去されている。

【0113】図19は、ダイオードの活性領域以外の箇所における伝送ラインの断面図を示す。

【0114】図20は、さらに別の構造を概略的に示している。この構造では、ダイオードの接合領域がラインの入力から出力へ向かう各ダイオード位置で徐々に減少している。また、各ダイオード間の間隔は、ラインの特性インピーダンスが約50オームのまま保たれるように、接合領域の減少に比例してスケール調整されている。かかる実施例の目的は、性能の改善を達成することにある。この性能改善は、信号がラインに沿って伝播するにつれ、その立ち下がり時間が圧縮され、そのため信号スペクトル中の高周波成分が増加するという認識に基づいている。これらの高周波成分が、接合領域のサイズと接合間隔を変えないと、ダイオードのキャパシタンスによって与えられるインピーダンスとコプレーナ導波管区分のインダクタンスを変化させる。図20は、平面視だけによる接合領域と接合間隔とを示す。構造のその他の詳細はすべて、前述した通りである。別の可能な実施例では、複数の区分に分けられ、各々の区分が複数のダイオードを含む伝送ラインを構成する。第1の区分では、各ダイオードが第1の間隔で、第1の接合領域を有する。第2の区分において、接合領域はすべて同一サイズだが、第1区分における接合領域のサイズより小さい。さらに、第2区分におけるダイオード間隔は、その区分の特性インピーダンスを約50オームに維持するように、接合領域の減少に比例して狭められている。このように各区分における接合領域とダイオード間隔が順次減少していくパターンは、適切な長さの伝送ラインが得られるまで繰り返される。最初の幾つかの区分は、所定の入力立ち下がり時間 $T_{f, in}$ に必要なダイオードの合計数を減らすため、電圧に伴う遅延の変化を最大とするように設計される。それ以降のより小さい幾何寸法の区分は、より高いダイオード及び高周波特性遮断周波数

を有し、できるだけ短い出力立ち下がり時間を得られるように最適化される。

【0115】本発明の教示に基づく圧縮を達成するのに使える別の構造は、電圧依存の任意のキャパシタンスからなる。つまり例えば、圧縮を達成するのに必要な非線形性と電圧依存の伝播を生じるのに、ショットキーダイオードでなく、通常のPNダイオード接合も使える。このような実施例における伝送ラインのダイオード部分の断面が、図21に示してある。図21のダイオード構造において、層80は金のダイオード接点である。層82はオーミック接点である。層84はP形のエピタキシャルガリウムヒ素で、該層はPエピタキシャル層84を通してN- エピタキシャル層86へ向かう電流に最小量の直列抵抗を与えるようにドーピングされている。N- エピタキシャル層86は、エピタキシャル層36について前述した説明の通り、形成及びドーピングされている。さらに、N+ エピタキシャル埋め込み層88が、前述したN+ エピタキシャル層44の説明の通り、形成及びドーピングされている。代替実施例として、P形エピタキシャル層84をP- ドーピングしてもよい。

【0116】さらに別の代替実施例では、ラインを作製するのに超階段ショットキー接点が使われ、それ以外は図10及び12もしくは図18及び19に示した構造と同じである。このような超階段接合は図22に表されており、N- エピタキシャル層の表面に近いドットパターンの密度増加が、そこでのより強いドーピングを表わす。超階段ショットキー接点においては、N- エピタキシャル層が一様でないドーピングを有する必要がある。かかるN- 層は、N- /N+ エピタキシャル層接合において軽くドーピングされている。このドーピングは、N- エピタキシャル層を通して正のZ方向に濃度が増加している。かかるドーピング分布は、分子ビームエピタキシ、液層エピタキシまたはMOCVDを使って作成できる。イオン打ち込みによっても、そうした一様でないドーピング分布を形成可能である。かかる実施例では、N- /N+ エピタキシャル層が分子ビームエピタキシによって形成され、イオン打ち込みを用いてドーピングされる。ドーピング分布は、接合を逆バイアスするために印加される瞬間的なライン電圧の線形変化に対して、容量変化が線形となるように調整される。つまり好ましい実施例において、逆バイアス電圧の単位変化に対するキャパシタンスの変化は非線形で、電圧のレベルが高いほど印加される逆バイアス電圧の単位変化が、より低い電圧における電圧の単位変化が生じるのよりも小さいキャパシタンスの変化を生じるようになされる。ドーピング分布を適切に調整することによって、電圧の所定変化に対するキャパシタンスの変化を、入力信号の電圧変化全体に対して線形にできる。超階段接合を用いた主な理由は、電圧の単位変化に対してキャパシタンスのより大きい変化を得るためである。すなわち、超階段接合によれば、得られ

る接合のキャパシタンスが一樣なドーピングによる接合のキャパシタンスよりも電圧に伴って一層急速に変化し、入力電圧に対してより大きいライン遅延の変化を生じる。所定の入力立ち下がり時間 $T_{f, in}$ で、必要なダイオードの数ひいては必要なライン長が減少される。

【0117】別の代替実施例は、図12中XXで示した誘導伝送ラインの各区分に換えてラセン状のインダクタ区分を用い、ダイ全体の寸法を減少するものである。ラセン状インダクタ区分は公知で、米国カルフォルニア州サニーヴェール所在のパシフィック・モノリシックス社製の各種デバイスが存在する。

【0118】使用可能な別の代替実施例は、一連のMESFETのゲートキャパシタンスが周期的に配備されたモノリシックコプレーナ導波管の形態を有する。このようなデバイスのMESFETを通る断面が、図23に示してある。かかるデバイスにおいて、層92はゲートメタル、層94はガリウムヒ素の基板（番号なし）の上に位置したN-エピタキシャルガリウムヒ素である。層96と98は、ソース及びドレインメタル接点100及び102とそれぞれ接触するN+エピタキシャル層である。

【0119】本発明の教示に基づくプロセスの好ましい実施例の詳細な処理スケジュールが、付録Cに与えてある。付録Cの処理スケジュールは、図24に示すような構造をもたらす。図24の構造と図10の構造との間の唯一の相違は、オーミック接点メタルの上にチタン106と白金108の追加の層が存在することである。これらの追加層は、接点の抵抗率に実質上影響を及ぼさない。

【0120】前記のデバイス構造を作製するのに、別の処理技術も使える。この処理の好ましい実施例では、オーミック接点のためN-層を貫いて埋め込みN+層までエッチングするのに必要な良好なエッチ深さ制御を与えるのに、標準的な $NH_4OH/H_2O_2/H_2O$ ガリウムヒ素湿式エッチを用いるが、それ以外のエッチ法も使える。例えば、N+エピタキシャル層を貫くエッチングを防ぐのに十分な深さの制御が達成可能なら、ドライエッチやプラズマエッチも使える。ドライエッチは表面状態を生じるが、それらの表面状態は、ドライエッチに続く軽い湿式エッチによってエッチング除去できる。

【0121】好ましい実施例において、オーミックメタライゼーションは、電子ビーム蒸着で被着され、急速熱アニールで合金化された一般的なゲルマニウム-ニッケル-金共融混合物である。急速熱アニール処理は通常の炉アニール処理より速く、容易で、安く、しかも再現性が高いことから好ましい。炉アニール接点について引用されている典型値（一般に0.5~5オーム/mm）よりもはるかに低い、0.06オーム/mmという抵抗率のオーミック接点が達成された。このオーミック接点

イブ）を用いて行われるが、そのメタライゼーション及びその他のメタライゼーションを、サブトラクティブエッチング処理を用いて行うこともできる。サブトラクティブエッチングの場合、湿式エッチまたはドライエッチどちらの処理も使える。リフトオフ技術は半導体表面エッチングの問題を避けられ、その点で望ましい。

【0122】打ち込み絶縁分離用マスキングは、重要な工程である。高エネルギー、高線量の陽子打ち込みマスキングが必要なので、好ましい実施例ではポリイミド層の上の1.6ミクロンの金属を用いる。この層が、肉厚メタルリフトオフ処理を用いてパターン形成される。但し上記打ち込みマスクは、打ち込みマスクを画定する湿式またはドライエッチを用いたサブトラクティブ処理によっても施せる。リフトオフ処理は極めて良好に行えるので、優れた打ち込みマスキングを与えられるように、金属のメタル厚さを増すことができる。優れた打ち込みマスキングはより高い打ち込みエネルギーを可能とし、その結果N-層36とN+半導体層に対する打ち込みの侵入がより深くなる。以下述べるように、より厚いN+層を使って、ダイオードの直列抵抗を減少することもできる。サブトラクティブ処理で湿式エッチまたは等方性ドライエッチを用いる場合、サブトラクティブ処理用打ち込みマスク上のメタルが厚いほど、エッチ時間が長くなり、横方向でのエッチ問題が生じる可能性を意味する。そのため、リフトオフ処理の方が好ましい。

【0123】最終レベルでの相互接続メタライゼーションは非常に厚い金属を必要とするが、プロセスの好ましい実施例において現在使われている肉厚メタルリフトオフ処理の代わりに、サブトラクティブエッチング処理を上記メタライゼーションに使うこともできる。このメタライゼーションの肉厚メタルは、低いライン直列抵抗を達成するのに必要である。この抵抗は、好ましい実施例において現在12オームである。

【0124】幾何形状はより高い性能レベルを達成するようにスケールダウンされているので、作製上の自己整合技術がより重要となる。現在、ショットキーダイオードの接合領域とオーミック接点は、自己整合処理工程を用いて形成されている。代替実施例では、中央金属導体24とアース面導体26との間の間隔も、自己整合処理を用いて形成し得る。

【0125】さらに好ましい実施例において、図10中の電流路58と60の抵抗を最小に保つため、N+エピタキシャル層44が0.8ミクロンの厚さで形成される。このエピタキシャル層44として厚い層を使うほど、より低い抵抗が得られる。しかし、ダイオード絶縁分離アイランド外の領域で、絶縁分離打ち込みを行わねばならない。エピタキシャル物質44としてより厚い層を用いると、絶縁分離打ち込みを行うのにより高いエネルギーが必要となる。あるいは、絶縁分離アイランド外の領域におけるエピタキシャル層を除去するのに何等

かのエッチング工程を用いてもよい。そのエッチング工程は好ましくは、オーミック接点46と48を破壊しないように自己整合されるべきである。

【0126】構造の寸法が非常に小さい幾何形状にスケールダウンされている場合、ショットキー接合の領域をオーミック接点間へ整合させるのに、自己整合ゲート技術を用いることもできる。1つの可能性は、T状の耐熱性メタルゲートを用いることである。この場合、Tのボトムがショットキー接点として機能する一方、Tのトップが、オーミック接点用接点窓の内側エッジの位置を画定するエッチマスクとして機能する。

【0127】非線形伝送ラインのコプレーナストリップ実施例

コプレーナストリップは、ミリ波用途で使われる集積伝送ラインの等価タイプである。図9、10及び12-14に示した非線形伝送ライン及びその代替実施例は、コプレーナストリップを用いても作製し得る。コプレーナストリップ伝送ラインは、基板上に集積された2つの導体だけを用いる。パルス立ち下がり時間の圧縮に有用な非線形伝送ラインを作製するためには、半導体基板の強ドープエピタキシャル成長埋め込み層の上に形成された軽ドープエピタキシャル成長層の上に、2つの導体で作製される。次いで、バラクタダイオード用の絶縁分離アイランドがイオン打ち込みによって、コプレーナストリップ伝送ラインの長さに沿って形成される。次いで、バラクタダイオードが絶縁分離アイランド内に作製され、伝送ラインを横切る電圧に伴って変化する接合キャパシタンスを、伝送ラインへそれに沿った各点で負荷する。コプレーナストリップ伝送ラインは、所望の特性インピーダンスよりも（ダイオードが存在しない状態で）大きい特性インピーダンスを有するような寸法で作製される。その後、バラクタダイオードがラインにキャパシタンスを加え、全体の特性インピーダンスを所望のレベルに下げる。一般的に、この所望なレベルは50オームであるが、必ずしもその必要はない。例えば、オシロスコープなどの機器内部で使われ、機器を接続する工業規格50オームの回路とインタフェースする入力及び/又は出力における50オームのインピーダンス整合部分の場合、最終的な特性インピーダンスは75オーム程度に設定し得る。

【0128】図25を参照すると、コプレーナストリップ非線形伝送ラインの一区分の平面図として、好ましい実施例が示してある。もちろん、コプレーナストリップ非線形伝送ラインは、これら多数の区分を縦列接続して成る。一般的に、図25に示したような100個の区分が縦列接続される。図25に示した100個の区分を縦列接続してなるかかる構成は、100ピコ秒の立ち下がり時間を3.5ピコ秒程度の立ち下がり時間に圧縮可能である。

【0129】図25において、導体200は基板202

の表面上に集積された2つの導体のうちの一方を表し、コプレーナストリップ伝送ラインを形成している。導体204は、コプレーナストリップ伝送ラインの他方の導体を表す。点線206は、図25に示した伝送ライン区分におけるバラクタダイオード用活性領域の輪郭を表す。基板のうち活性領域206以外の領域はすべて、ダイオードのための絶縁分離アイランドを形成するように、イオン打ち込み損傷によって非導電性とされている。

【0130】コプレーナストリップ導体204のメタルの延長部であるバラクタダイオード用ショットキーアノード接点208が、コプレーナストリップ導体204からダイオードの活性領域206上へと延びている。ショットキーアノード接点208は、前述したのと同じ物質及び同じ方法で作製される。好ましい実施例において、アノード接点メタル208は、基板と接触するチタンのショットキーメタルアノード接点上に位置した金からなる。白金拡散バリアが導体208の金を、その下側の白金ショットキーメタルから分離している。ショットキーダイオードを形成するどんなメタルでも、基板と接触させて使える。

【0131】バラクタダイオード用の2つのカソード接点210と212は、コプレーナストリップ伝送ラインの導体200のメタルを、ダイオード活性領域の両端上方に整合された2つのオーミック接点214と216上へ延出することによって形成される。オーミック接点214と216は、前述した方法で、同じオーミック接点合金を用いて形成される。前記のごとく、どんなオーミック接点用合金でも使えるが、できるだけ低い接点抵抗を生じる合金を用いるのが好ましい。カソード接点210と212のメタルは、アノード接点208及びコプレーナストリップ接点200と204のメタルと同じ金である。

【0132】図25に示したコプレーナストリップ非線形伝送ラインの各構成要素の寸法が、アルファベットAからHで表されている。次にこれらの寸法を、全体として50オームの特性インピーダンスに等しい値を有する好ましい実施例について示す。他の望ましいインピーダンスレベルに対しては、それ以外の寸法を選択し得る。伝送ラインの総特性インピーダンスは、各区分毎の伝送ラインインダクタンスの平方根を、各区分毎のキャパシタンスで割った値に等しい。各区分毎のキャパシタンスは、電圧に依存したダイオード接合のキャパシタンスと伝送ライン自体の寄生キャパシタンスを合わせたものである。非線形伝送ラインの総特性インピーダンスは、2つの導体200と204を離れるように移動し、各区分毎のインピーダンスを増大させることによって高められる。一般に、ダイオード接合のキャパシタンスはできるだけ高いレベルに維持するのが望ましい。なぜなら、パルスの立ち下がり時間を圧縮するのはこのキャパシタン

スだからである。従って、両導体200と204を離す移動により、特性インピーダンスを所望のレベル以上に増大することなく、より大きいダイオード接合のキャパシタンスが使用可能となる。一般に、上記特性インピーダンスの所望レベルは、工業規格の50オームである。以下に示す各寸法は、50オームのコプレーナストリップ非線形伝送ラインに関するものである：A=カソード接点のコプレーナストリップ導体200のエッジから絶縁分離アイランド206の遠方エッジへ達するのに必要な寸法、但し絶縁分離アイランドは幅19ミクロンで、コプレーナストリップの両導体200と204間の中心に位置する；B=5ミクロン；C=10ミクロン；D=19ミクロン；E=23ミクロン；F=26ミクロン；G=20ミクロン；及びH=166ミクロン。図2.5において、カソード接点、オーミック接点及び活性領域の各境界は、説明の便宜上見やすくするため一致するように示してない。実際のデバイスにおいて、実際の境界は一致させてもよいが、一般にオーミック接点はカソード接点のストリップより大きくする。重要なのは、ダイオードの直列抵抗を最小とするように、良好な接触がなされることである。上記の各寸法は、コプレーナストリップ伝送ライン（ダイオードがない場合）について、約100オームの特性インピーダンスをもたらす。伝送ラインに負荷されるダイオードを加えると、特性インピーダンスは約50オームに下がる。

【0133】また好ましい実施例においては、2つの異なるサイズのコプレーナストリップ非線形伝送ラインセルつまり区分が使われる。これは、遠方端側でラインに沿って伝播する信号の方が圧縮された立ち下がり時間を有し、従ってより大きいバンド幅を有するため、非線形伝送ラインの遠方端に近い側の区分でより高いバンド幅となるのが望ましいためである。大きいサイズのセルから小さいサイズのセルへ切り換えるべきライン上の正確な地点はまだ正確に分かっていないが、最大の圧縮が生じる地点として経験的に決められる。その地点は、コプレーナストリップ非線形伝送ラインの入力端からダイオードを数えて60から70個目の間のどこかに位置すると考えられる。

【0134】コプレーナストリップ非線形伝送ラインの出力端側近くで使われる小サイズセルの各寸法は次の通り：A=17.5ミクロン；B=5ミクロン；C=10ミクロン；D=9.5ミクロン；E=18ミクロン；F=25ミクロン；G=20ミクロン；及びH=83ミクロン。小サイズセルは大サイズセルよりわずかに損失が大きい、ダイオード接合の接合領域が小さい分接合キャパシタンスが小さいため、2倍高い周期的遮断周波数（遮断周波数は伝送ラインの直列インダクタンスと導波管及びダイオードの合計キャパシタンスとの積に関連する）を有する。つまり、コプレーナストリップ非線形伝送ラインの出力端に近い側で高周波のフーリエ成分は

えられる接合キャパシタンスのインピーダンスが高くなり、それによってより高い遮断周波数を生じる。もちろん、多くの実施例では、伝送ラインの遠方端近くでセルサイズを変えることによって性能を最大限とする必要が必ずしもなく、ラインの全長に沿って同一サイズのセルを用いてもよい。

【0135】前記の各寸法はもちろん、使用可能な唯一の寸法ではない。多くの異なる用途で許容可能な性能特性を持つデバイスを与えられる、その他多くの各寸法の組合せが存在する。もちろん、用途自体、対象の周波数範囲、及び所望の圧縮レベルも、選択する寸法に寄与する。

【0136】図26を参照すると、図25の断面線26-26'に沿った図25のコプレーナストリップ非線形伝送ライン区分の断面図が示してある。図26は、オーミックカソード接点を通る断面を基本的に示す。コプレーナストリップ導体200とカソード接点212を形成する延長部とのメタルが、ガリウムヒ素基板202上のガリウムヒ素のN-ドーピングエピタキシャル成長層220の上に位置する。N-エピタキシャル層220は、エピタキシャル成長ガリウムヒ素の強ドーピングN+埋め込み層の上に位置する。オーミック接点216は、付録Aに与えたマスクレベル1の処理用の自己整合プロセスを用いて形成される。基本通り、N-エピタキシャル層220がエッチングされてN+埋め込み層を露出させた後、オーミック接点合金が蒸着され、エッチマスクとして用いたのと同じフォトリソを用いてリフトオフされる。使用する各種のメタルと厚さが付録Aに与えてあるが、低抵抗のオーミック接点ならいずれも使える。オーミック接点216は図26において抽象的に、オーミック合金の層226と拡散バリア228を含むものとして示してある。蒸着工程とリフトオフの後、オーミック合金が450℃で合金化され、オーミックメタル層226から埋め込み層224内へと延びた垂直線によって表されているように、オーミック合金メタルを埋め込み層224と良好に電気接触させる。埋め込み層224のドーピングは、ダイオードの直列抵抗をできるだけ低く保つように、できるだけ強く行うべきである。好ましい実施例において、N+埋め込み層は 3×10^{18} 原子/cm³にドーピングされる。

【0137】コプレーナストリップの他方の導体204は、図示したN-ドーピングエピタキシャル成長層の上に位置する。

【0138】2つの導体を有するコプレーナストリップ伝送ラインは、2つだけの伝播モードを有する。1つは、両導体がラインに沿ったあらゆる地点で同一電圧と同一極性を有する非平衡モードである。もう1つは、両導体がラインの全長に沿って反対の極性と同一電圧を有する平衡モードである。平衡モードでは、電場線が一方の導体から他方の導体へ向かうだけで、遠く離れたスベ

ース内へと延出しないため、大きい損は生じない。これは、伝播の損が最も低いモードであることから、望ましいモードである。しかし非平衡モードは、2つの導体からの電場線が加え合わされ、アース面を求めながら周囲のスペース内へと遠く延出するため、望ましくないモードである。その結果、損が発生する。この伝播モードを抑えるため、基板202の下側あるいは基板の周囲に損失物質230を配置してもよい。この損失物質は、フェライト粒子を埋め込んだシリコンゴムとし得る。実施例によっては、損失物質層230を2つの層で構成してもよい：導電性発泡体からなる第1層、及びフェライト粒子を埋め込んだシリコンゴムなどの損失性物質からなる第2層。また別の許容可能な損失性物質は、登録商標ポリロン (Polyiron) (Emerson & Cumingから市販) で、これはフェライトを充填したセラミック物質である。この種損失物質の使用は、集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインの近くにアース面を配置すべきいずれの用途においても重要である。アース面を近くに配置する場合には、損失物質を集積コプレーナストリップ非線形伝送ラインとアース面との間に配置すべきである。これを満たす構造なら、いずれも充分採用できる。実際の実施例において、デバイスを保護し外部世界をシールドするのに使われるハウジングは通常メタルで、アース面を構成しているので、損失物質はほとんどの場合必ず必要である。コプレーナストリップ非線形伝送ラインはかなり多くの区分から構成されるため、実装サイズを小さく保つように、ラインは一般に蛇行 (S字状に巻かれている。この蛇行状のコーナ及び伝送ラインでのその他いずれの変化も、高次及び低次あらゆる伝播モードを結合する不連続点となる。損失物質が存在しないと、各不連続点が電力を非平衡モードとし、望ましくない損

【0139】図27を参照すると、図25の断面線27-27'に沿ったダイオード領域の活性領域を通る、コプレーナストリップ非線形伝送ラインの断面図が示してある。図26及び27中、点線206が活性領域の範囲を表す。カソード接点212と210のメタルが、それぞれオーミック接点214と216上に位置する。アノード接点208のメタルは、ショットキーメタル236を覆う拡散バリア234上の金属層からなる。アノード接点208と各カソード接点210及び212との間の距離は、ダイオードの直列抵抗を最小とするように、構造を作製するのに使われた設計ルールの下で許される最小距離である。寄生のキャパシタンス及びインダクタンスがダイオードの遮断周波数に悪影響を及ぼさないように、ダイオードの直列抵抗を小さく保つと共に、構造をコンパクトに保つことが重要である。ダイオードの遮断周波数が高く保たれないと、ラインに沿って忠実に伝播

してしまうことがある。アノード及びカソード両接点間の距離をできるだけ小さくすることに併せて、強くドーピングされた埋め込み層224の存在が、ダイオードの直列抵抗を低く保つ助けをしている。ダイオードの直列抵抗を低く保つのに寄与する別の因子は、アノード接点下方における空乏層240の最大侵入深さとほぼ同じ厚さとなるように、N-層220の深さを最適化することである。これによって、電流路242と244のうち軽ドーピングN-エピタキシャル層220内に位置する部分の長さが最小となる。アノードにショットキー接点を用い、カソードにオーミック接点を用いることも、ダイオードの直列抵抗を減少するのに役立つ。また、ダイオードのために連続状の接合でなく絶縁分離されたアイランドを用いることが、伝送ラインの単位長さ当りのキャパシタンスを減少させる。連続状の接合を用いると、単位長さ当りのキャパシタンス値が大きく成りすぎ、数オームより大きい非線形伝送ラインの特性インピーダンスを達成するのが不可能になる。これは、50オームの外界世界とわずかに数オームの特性インピーダンスで動作している連続状接合による非線形伝送ラインとの間での大きなインピーダンス不整合のため、そうした非線形伝送ラインへの入力に対してかなりの減衰と電力の反射を引き起こす。

【0140】図28を参照すると、2つの異なるサイズ区分を用いたコプレーナストリップ非線形伝送ラインの平面図が示してある。入力接点パッド250と252からなり、これら接点パッドは各々導体200と204の一方に接続されている。第1のバラクタダイオード区分254が、図25から27に示した構造を有する。第2のダイオード区分256は、第1のダイオード区分254と同じ構造を有する。両ダイオード区分254と256の中心-中心間隔は、好ましい実施例において166ミクロンである。この構造が60から90個のダイオードセルについて、たいていの場合ダイオード数60から70までの間のどこかで繰り返される。最後の10個程度のダイオード区分が、前記した小さい接合領域と区分長さを有する。ダイオード区分258、260及び262が、高い遮断周波数を有するそれら小セルの代表である。小ダイオード区分の各々も、寸法がより小さい点を除き、図25から27に示した構造を有する。

【0141】ボックス264はコプレーナストリップ非線形伝送ラインの出力を表し、後述するサンプラ構造とし得る。

【0142】図29を参照すると、局部発振パルスを圧縮するコプレーナストリップ非線形伝送ラインを用いた、等価時間サンプリング用のサンプラ構造の平面図が示してある。サンプリングすべき無線周波数 (RF) 信号が、コプレーナ導波管伝送ラインの中央導体260とアース面導体262及び264とに結合される。中央導

で示した2つのオーミック接点により、サンプリングダイオード266のアノードとサンプリングダイオード268のカソードとに接続されている。2つのサンプリングダイオード266と268は、図25から27に示したダイオード構造と同じ構造を有する。すなわち、オーミック接点を表す両ボックス間に延びる各1本の線で示した各アノード接点下方の埋め込み層内に、絶縁分離されたアイランドが存在する。ダイオード266のアノードは中央導体260から左方に延び、ダイオード268のアノードは、トッププレート270とアース面導体264とからなるコンデンサC2のトッププレート270のメタルから左方に延びている。図29のコンデンサC2は、図1のコンデンサC2と同じ回路接続及び同じ機能を有する。コンデンサC2のトッププレート270は、エアブリッジ、オーミック接点272及び埋め込み層抵抗274を介して、埋め込み層抵抗274にオーミック接触している中間周波数出力ポート276にも接続されている。抵抗274は、イオン打ち込み損傷の領域によって取り囲まれた埋め込み層を通る導電路で、ダイオードアイランドの絶縁分離のためのイオン打ち込み時に、埋め込み層（図示せず）の一部をマスクで覆うことによって作製される。

【0143】コンデンサC2のトッププレート270は、窒化物など絶縁物質の層によってアース面導体264から分離されている。

【0144】ダイオード266のカソードは、2つのオーミック接点によってコンデンサC1のトッププレート278に接続されている。コンデンサC1のボトムプレートはアース面導体262で、窒化物の層によってトッププレート278から分離されている。コンデンサC1のトッププレート278も、エアブリッジ、オーミック接点280及び埋め込み層抵抗282を介して、別の中間周波数出力ポート284に接続されている。

【0145】抵抗282と274は、好ましい実施例において各々500オームで、RF及びIF両回路間に絶縁分離を与える役割を果たす。

【0146】コプレーナ導波管伝送ラインの中央導体260は、オーミック接点287によって、2つの100オーム埋め込み層抵抗286と288の各々の一端に接続されている。これら埋め込み層の各々が、中央導体260を2つのアース面導体の一方262または264に接続する。これら蛇行状埋め込み層抵抗286と288の経路は、サンプリング構造内のその他の埋め込み層抵抗の経路と同じく、点線で示してある。2つの100オーム埋め込み層抵抗286と288は、RF信号コプレーナ導波管伝送ラインからすると、1つの50オーム成端として見える。

【0147】アース面導体262と264の各々は、そ

れぞれ20オームの埋め込み層抵抗290と292によって、最後のダイオード区分だけを示したコプレーナストリップ非線形伝送ライン300の2つの導体204と200に接続されている。コプレーナストリップ非線形伝送ライン300の目的は、局部発振ストロブパルスを受け取り、その立ち下がり時間をRF信号のサンプリング用に圧縮することにある。非線形伝送ライン300から到着したサンプルパルスは、サンプリングダイオード266と268を通して伝播するときそれらダイオードを瞬間的にオンする。サンプルパルスは、エアブリッジ302と304によって形成された両導体間の短絡に至るまで、アース面導体262と264に沿って伝播し続ける。サンプルパルスはその短絡で反射され、サンプリングダイオード266と268へ向かって今度は逆方向に伝播する。サンプルパルスが再びサンプリングダイオード266と268に到着すると、これらダイオードがオフされ、サンプリングが完了する。サンプリングブリッジが中間周波数出力信号を導出する方法は先に説明してあり、この議論は一般に図29の実施例にも適用され、従ってここでは繰り返さない。サンプリングダイオード、コンデンサ、エアブリッジ及び埋め込み層抵抗の構造の詳細も図5、6及び7の議論に関連して前述してあり、ここでは説明を繰り返さない。

【0148】ここに開示の非線形伝送ラインを作製する最良の態様は、付録Dに詳述した処理を用いて、超階段ドーピング分布を使用したものである。この付録Dは、超階段ドーピング分布を含むここに開示の構造を作製するのに必要な全ての工程を含んだ完全な処理仕様書である。超階段ドーピングコプレーナ導波管非線形伝送ラインの説明は、Maddenらの文献、「ピコ秒衝撃波発生用超階段ドーピングGaAs非線形伝送ライン」、Appl. Phys. Lett. 54(11)13、1989年3月、及びMaddenらの文献、「モノリシックGaAs非線形伝送ライン上における3.5ps立ち下がり時間衝撃波の発生」、A Electron Device Letters, vol. 9, No. 6, (1988年6月)に見られ、これら両文献は参照によってここに包含されるものである。超階段ドーピングは同じ立ち下がり時間の圧縮を半分の長さで与え、それにより装荷（インサート）損を減少する。周期的なライン遮断周波数が500GHzで、ダイオードの遮断周波数が3.8THzの場合、 $3.3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の表面ドーピング、0.175ミクロンの指数ドーピング減衰定数（MaddenらのApplied Physics Lettersの文献の式3上方のドーピング分布に関する式参照）、及び20フェムトファラッドの接合キャパシタンスが使える。

【0149】なお、以下に具体的な数式及びデータを示す。

【0150】

$$[1] \quad Z_0(V) = \sqrt{L/C_T(V)}$$

対象の各種パラメータ:

$Z_0(V)$ = 電圧 V を関数とした伝送ラインの小信号特性インピーダンス、

$L = Z_0 \tau$ = 相互接続伝送ラインの各区分毎のインダクタンス、

$C_T(V)$ = 電圧 V を関数とした各区分毎の合計キャパシタンス、

V = ライン上の任意の特定地点における瞬間電圧、

$\tau = (P/c_0) \sqrt{(1 + \epsilon_r)/2}$ = 時間単位でのショットキーバラクタダイオードの電氣的間隔、

P = 距離単位でのショットキーバラクタダイオードの電氣的間隔、

ϵ_r = ガリウムヒ素の誘電定数 ~ 12.5 、

c_0 = 真空内での光速、

Z_0 = 相互接続伝送ラインの特性インピーダンス、

[2] $C_T(V) = [C_J(V) + C_L]$ = 各区分毎の合計キャパシタンス

但し、

[3] $C_L = \tau / Z_0$ = 相互接続伝送ラインの各区分毎のキャパシタンス、及び

[4] $C_J(V) = C_{J0} / \sqrt{1 - V/\phi}$ = 接合電位 ϕ の

[0151]

53

54

階段接合ダイオードの遷移キャパシタンス、但し好ましい実施例において、 90Ω のコプレーナ導波管伝送ラインに沿った $160\mu\text{m}$ 間隔で $C_{j0}=50\text{fF}$ 、及び $\phi\approx 0.8$ ボルト。

$$[5] \quad T(V) = \sqrt{LC_T(V)}$$

但し、

$T(V)$ = 伝送ラインの群遅延。

$$[6] \quad \omega_{per} \approx 2 / \sqrt{L(C_{is} + C_l)} \\ = 2 / [Z_{is}(C_{is} + C_l)]$$

但し C_{is} は式(10)で定義され、 Z_{is} は式(12)で定義される。

$$[7] \quad \omega_{ro} = 1 / r_s C_j(V) \approx 1 / r_s C_{is}$$

但し、

r_s = バラクタ直列抵抗 $\sim 10\Omega$ 。

$$[8] \quad T_{r,out} \approx \max \left\{ \begin{array}{l} T_{f, \max} \\ T_{f, in-n} [T(V_h) \\ - T(V_l)] \end{array} \right.$$

但し、

n = 伝送ラインの区分数、及び V_h と V_l は入力信号の高レベル電圧と低レベル電圧。

$$[9] \quad Z_l C_{is} \omega_{per} \sin(\omega_{per} \tau) / 2 \\ = \cos(\omega_{per} \tau) + 1$$

【0152】

但し、

$$[10] \quad C_{1s} = \frac{[Q(V_h) - Q(V_l)]}{(V_h - V_l)}$$

但し好ましい実施例において、 $C_{1s} \gg C_1$ 。

$$[11] \quad V_{out}(t) = V_{in}[t - nT(V)]$$

但し $T(V)$ は上記式(5)で与えられる。

$$[12] \quad Z_{1s} = \sqrt{\frac{L}{C_{1s} + C_1}}$$

$Z_{1s} \approx 160 \mu m$ 間隔で $3 \times 10^{18} / cm^3$ にドーブされた N^- 層上に $10 \mu m \times 10 \mu m$ の接合領域を有する45個のダイードが負荷された 90Ω のコプレーナ導波管上において、図2及び4の構造で0から-2ボルトの階段関数入力について 50Ω 。

20

【0153】

【発明の効果】非線形伝送ラインでコプレーナストリップを用いた利点は、幾つか存在する。第1に、単位長さ当りのインピーダンスが一定レベルの場合、コプレーナ導波管よりコプレーナストリップの方がコンパクトである。その理由は、ダイオードがない場合の伝送ラインについて約90から100オームという充分高いインピーダンスを得るためには、コプレーナ導波管(CPW)だと、アース面導体を中央導体から非常に離して広げなければならないからである。またその理由は、コプレーナ導波管の中央導体の直列抵抗を許容レベルに下げて保つためには、中央導体を少なくとも数ミクロンの幅にしなければならないからである。伝送ラインの特性インピーダンスは中央導体の幅対アース面導体間の分離距離の比に依存するので、ダイオードがない場合のCPWラインについて90から100オームの特性インピーダンスを達成するのに、アース面導体間の分離距離を非常に大きくしなければならない。かかる高いレベルのインピーダンスが必要なのは、ダイオードを付加しとき、それによって周期的に加えられる容量リアクタンスが、周期的に負荷されるCPW伝送ラインについて約50オームの総特性インピーダンスを生じるようにするためである。コプレーナストリップ(CPS)伝送ラインの構造を採用しているので、2つの導体の各幅を20ミクロンとし26ミクロン離すことで、(ダイオードがない場合で)100オームという高いレベルのインピーダンスが容易に達成可能である。これは、同一インピーダンスのCPWラインと比べ、はるかに小さい構造である。

【0154】より小さい集積構造は、次の2つの択一的な利点を有する。1) 同一サイズのダイトにより多くの

回路を配置できる、あるいは2) 同一量の回路に対してより小さいダイを使え、その結果生産歩留まりが増大する。

【0155】CPW非線形伝送ラインと比べたCPS非線形伝送ラインの第2の利点は、装荷損が低いことである。CPWの場合、中央導体の幅は、許容可能な高いレベルのインピーダンスを達成するためアース面導体を非常に離して配置する必要を防ぐため、中央導体の幅をかなり狭くしなければならない。ダイオードの付加前に90-100オームの特性インピーダンスが達成されないと、ダイオードの付加後におけるCPWラインの総特性インピーダンスが50オームを大幅に下回ってしまう。これは、そのようなラインを50オームの信号源に結合する際、ごくわずかな電力しかラインに結合されず、ほぼすべての電力が信号源に反射されるため、非常に重大な効率損を引き起こす。

【0156】このように中央導体の幅を比較的小さく保つ必要が、CPW伝送ラインの直列抵抗を、同一の特性インピーダンスのCPS伝送ラインよりも必然的に高める。このCPSと比べたCPWの高い直列抵抗は、50オームのCPSの代わりに50オームのCPWを用いた場合、より大きい装荷損が生じることを意味する。

【0157】以上述べたように本発明によれば、パルス発生器とサンプリングダイオードとの間の空間的分離が最小であると共に、寸法の制御が非常に正確となるような、完全集積モノリシック設計に基づいた信号サンプラが得られる。

【0158】また、複数のショットキーバリアバラクタダイオードの負荷がかかったとき、約50オームの全体特性インピーダンスを生じるのに充分高い特性インピー

50

ダンスを有するコンパクトな集積非線形伝送ライン構造も得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 サンプルパルスの圧縮用コプレーナ導波管伝送ラインを用いたサンプリングヘッドの概略図。

【図2】 等価時間サンプリングを示すダイアグラム。

【図3】 非線形伝送ラインのブロック図。

【図4】 非線形伝送ラインへの入力サンプルパルスとラインからの出力中間パルスを示す図。

【図5】 本発明の教示の一実施例に基づく集積サンプリング回路のレイアウトの平面図。

【図6】 (a) は (b) に示したサンプリングダイオード構造の断面と対応するように並べ換えた、サンプリングダイオードの回路図。(b) は (c) の平面図に示したダイオード及びRF導波管構造の断面図。(c) はサンプリングダイオード及びRF導波管構造の平面図。

(d) はサンプリングダイオードの断面図。

【図7】 図1の回路を実施するために組み合わせられるダイオード、コンデンサ、抵抗及びコプレーナ導波管の相互接続を示す集積サンプリングヘッドの部分平面図。

【図8】 図7の構造を有するサンプリングヘッドを用いてサンプリングされた速いエッジを示す図。

【図9】 非線形伝送ラインの概略図。

【図10】 CPW非線形伝送ラインの構造のダイオード用絶縁分離アイランドを通る断面図。

【図11】 非線形伝送ラインからの入力信号及び出力信号の図で、圧縮の結果を示す。

【図12】 CPW非線形伝送ラインの構造の平面図。

【図13】 絶縁分離打ち込みマスクの輪郭の平面図。

【図14】 ダイオード接点領域とオーミック接点領域を含む、ダイオードの平面図。

【図15】 オーミック接点の形成中におけるデバイス構造の中間段階での、CPW非線形伝送ラインの構造の断面図。

【図16】 絶縁分離打ち込み時におけるCPWデバイスの構造の断面図。

【図17】 CPW非線形伝送ラインからの入力及び出力信号の相対的波形の図で、スケールモデルで表してある。

【図18】 CPW非線形伝送ラインの別の実施例のダイ

オード領域を通る断面図。

【図19】 CPW非線形伝送ラインの別の実施例のダイオード用絶縁分離アイランド外の領域を通る断面図。

【図20】 CPW非線形伝送ラインの実施例の概略平面図で、ダイオードの接合領域が順次小さくすると共に、ダイオード間の間隔も順次小さくなっている。

【図21】 非線形伝送ラインの別の実施例のダイオード領域の断面図。

【図22】 非線形伝送ラインの別の実施例のダイオード領域の断面図。

【図23】 非線形伝送ラインの別の実施例の概略断面図。

【図24】 CPW非線形伝送ラインの好ましい実施例の断面図。

【図25】 集積CPS非線形伝送ラインの1区分の平面図。

【図26】 CPS非線形伝送ラインのカソード接点とショットキーバリアバラクタダイオードの活性領域とを通る断面図。

【図27】 非線形伝送ラインのショットキーバリアバラクタダイオードのアノード及びカソード両接点を通る断面図。

【図28】 CPS非線形伝送ラインの蛇行状構造の平面図で、同一ラインにおける大及び小両セルの使用を示す。

【図29】 サンプルパルス発生のためにCPS非線形伝送ラインを用いた等価時間サンブラの平面図。

【符号の説明】

24、26；208、210 (212) 第1、2導体

34；240 半導体接合

36；220 表面層

42；202 基板

44；224 埋め込み層

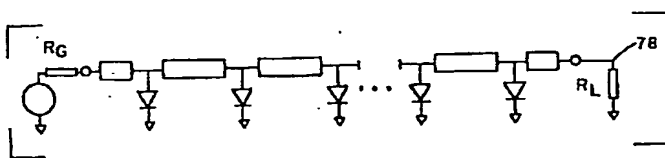
80、82、84；260、262、264 RF導波管手段

86、88；302、304 短絡成端（エアブリッジ）

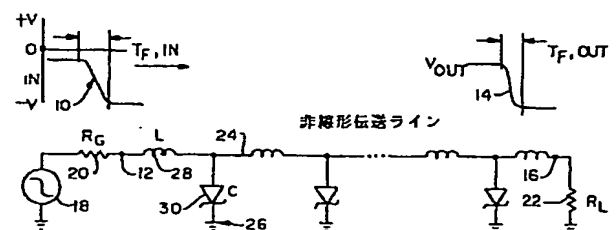
96；300 非線形伝送ライン

C1、C2、D1、D2、R1 サンプリング手段（コンデンサ、ダイオード、抵抗）

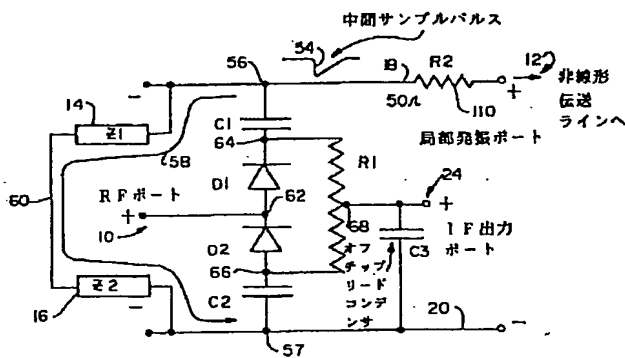
【図3】



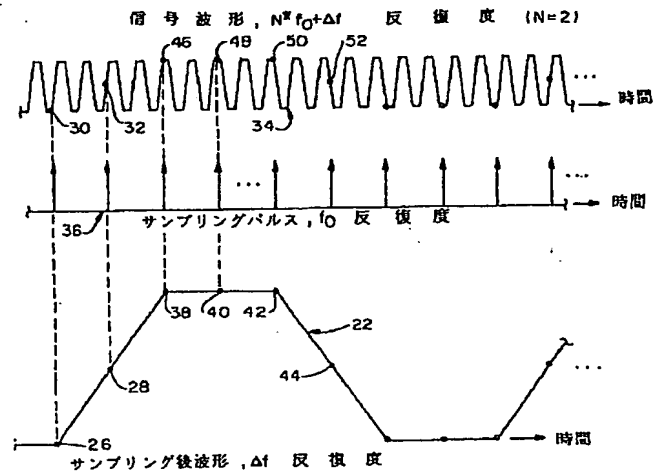
【図9】



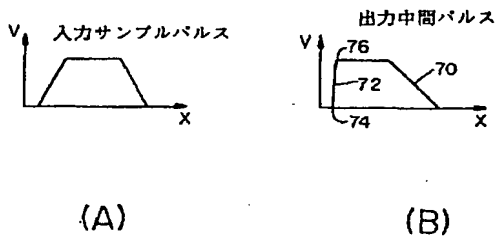
【図1】



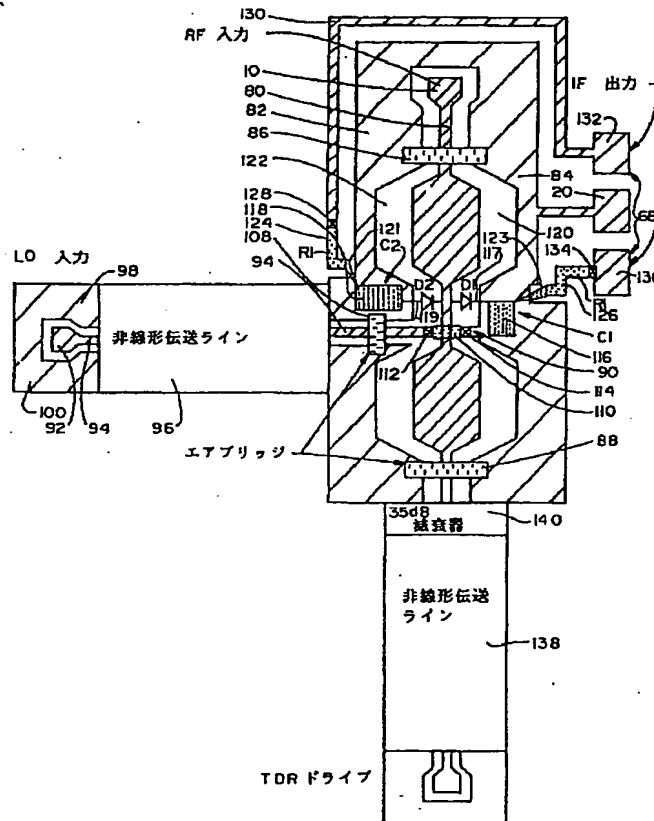
【図2】



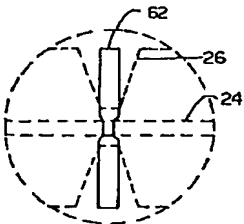
【図4】



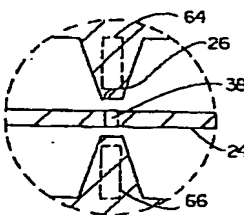
【図5】



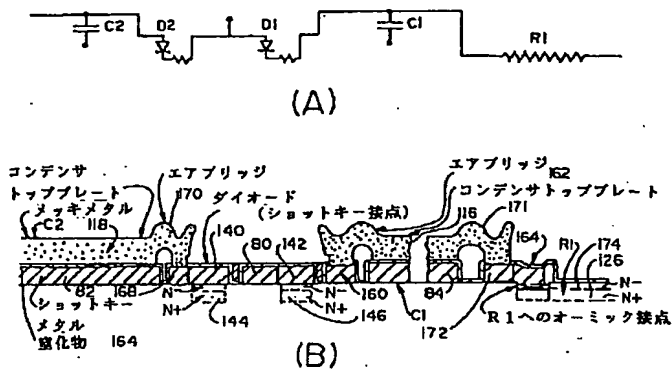
【図13】



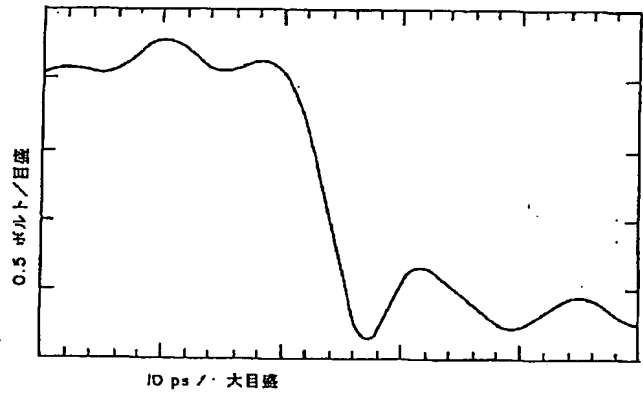
【図14】



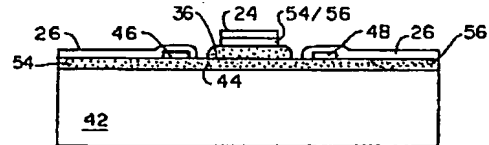
【図6】



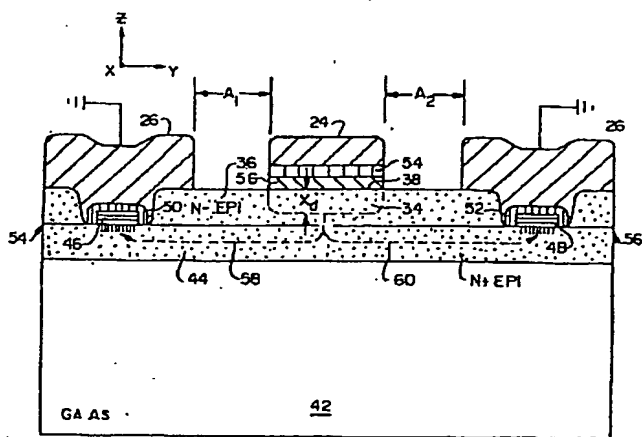
【図8】



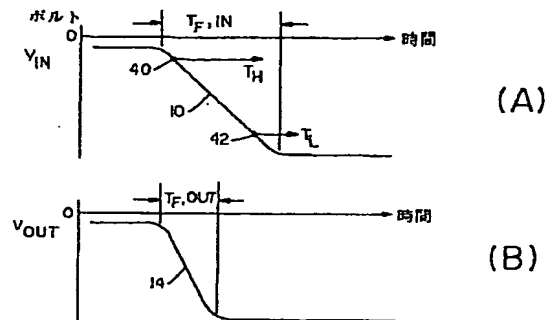
【図18】



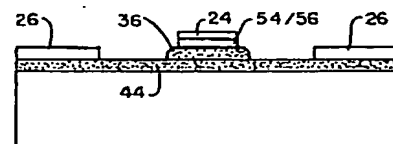
【図10】



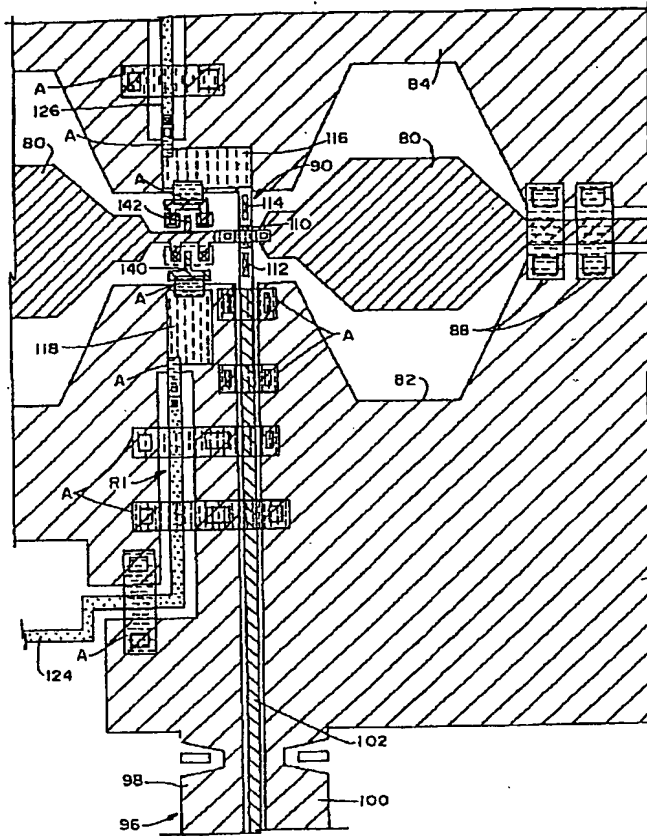
【図11】



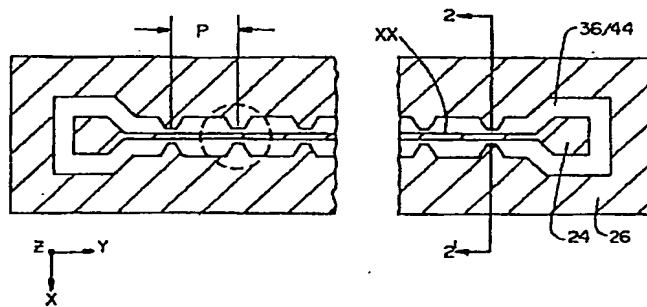
【図19】



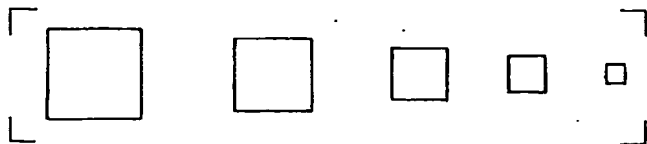
【図7】



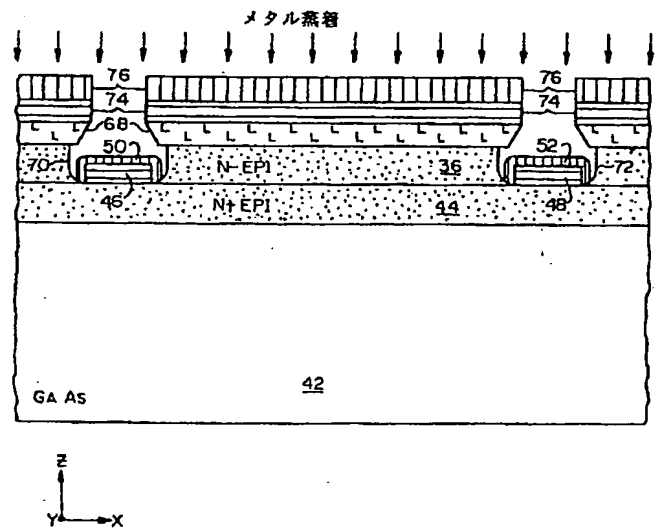
【図12】



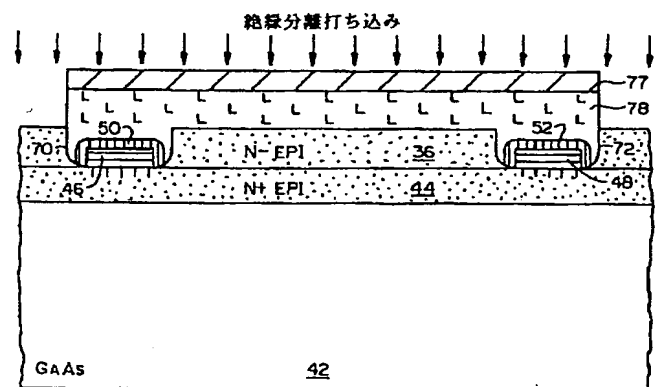
【図20】



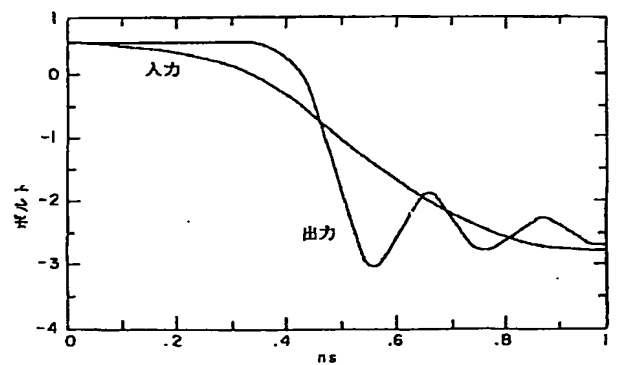
【図15】



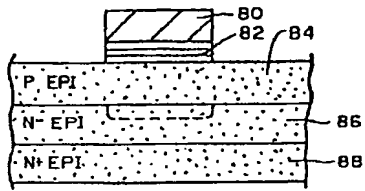
【図16】



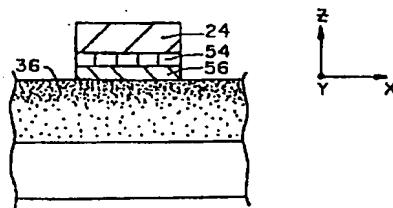
【図17】



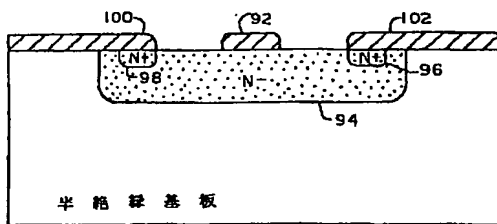
【図21】



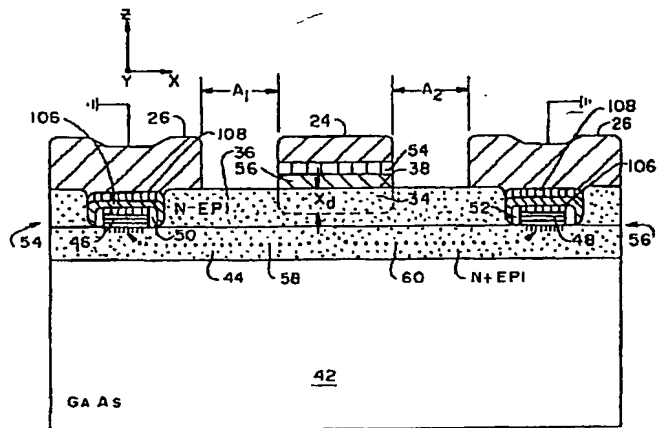
【図22】



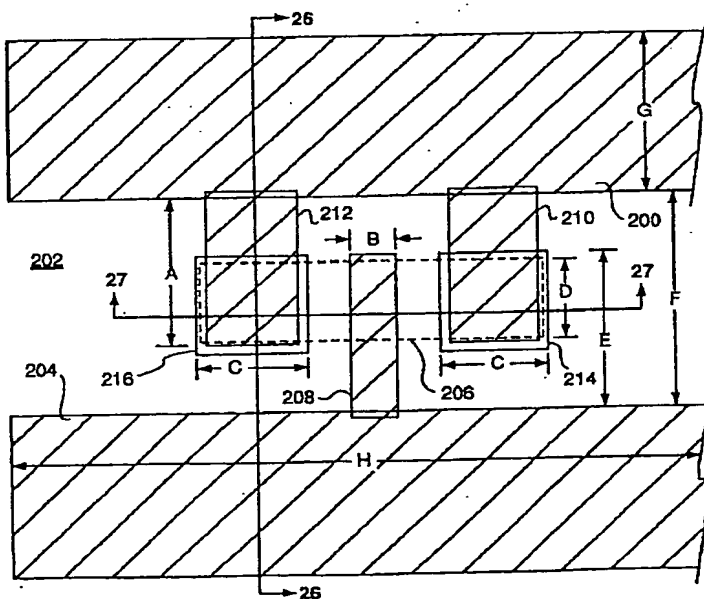
【図23】



【図24】



【図25】



【図29】

